



TUGAS AKHIR - MO141326

# PEMODELAN *RUN UP* TSUNAMI MENGUNAKAN SKENARIO JAMAK, STUDI KASUS BANDARA KULON PROGO

DIKKY YUNIANSYAH

NRP. 0431134000033

Dosen Pembimbing :

Haryo Dwito Armono, S.T., M. Eng., Ph.D.

Dr. Ing. Ir. Widjo Kongko, M. Eng. (BPPT YOGYAKARTA)

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 60111

2018



FINAL PROJECT - MO141326

# MODELLING OF RUN UP TSUNAMI USING PLURAL SCENARIOS, CASE STUDY KULON PROGO AIRPORT

DIKKY YUNIANSYAH

NRP. 04311340000033

Supervisors :

Haryo Dwito Armono, S.T., M. Eng., Ph.D.

Dr. Ing. Ir. Widjo Kongko, M. Eng. (BPPT YOGYAKARTA)

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 60111

2018

**PEMODELAN RUN UP TSUNAMI: MENGGUNAKAN SKENARIO  
JAMAK (STUDI KASUS BANDARA KULON PROGO)**

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**DIKKY YUNIANSYAH**

NRP. 4313 100 033

Disetujui oleh

- 
1. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng, Ph.D.....(Pembimbing 1)
  2. Dr.Ing. Ir. Widjo Kongko, M.Eng.....(Pembimbing 2)
  3. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D .....(Penguji)
  4. Dr. Ir. Hasan Ikhwani M.Sc.....(Penguji)
  5. Sujantoko, ST, MT.....(Penguji)

SURABAYA, JANUARI 2018

# PEMODELAN RUN UP TSUNAMI MENGGUNAKAN SKENARIO JAMAK (STUDI KASUS BANDARA KULON PROGO)

Nama : Dikky Yuniansyah  
NRP : 04311340000033  
Departemen : Teknik Kelautan FTK – ITS  
Dosen Pembimbing : Haryo Dwito Armono, S.T., M. Eng., Ph.D.  
Dr. Ing. Ir. Widjo Kongko, M. Eng. (BPPT Yogyakarta)

## Abstrak

Tsunami adalah suatu peristiwa rangkaian gelombang laut yang menjalar dengan kecepatan kurang lebih sebesar 900 km per jam dan biasanya ditimbulkan akibat dari adanya gempa bumi di dasar laut. Salah satu wilayah Indonesia yang rawan terjadi tsunami yaitu bagian Selatan Pulau Jawa. Salah satu daerah di bagian Selatan Pulau Jawa, yaitu kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta sebuah lokasi rencana proyek *New Yogyakarta International Airport (NYIA)* atau Bandara Kulon Progo sedang disiapkan. Untuk itu perlu dilakukan upaya pemodelan tsunami dan mitigasi bencana untuk mengantisipasi datangnya bencana tsunami, diantaranya memprediksi daerah genangan akibat terjangan tsunami, waktu inundasi dan efektifitas *sand dunes* dan polder sebagai upaya mitigasi bencana. Penelitian ini memodelkan tiga skenario dampak Tsunami, yaitu : skenario kondisi eksisting (sebelum dibangun bandara), kondisi setelah dibangun bandara, dan skenario tsunami dengan mitigasi berupa *sand dunes* dan polder. Pemodelan dan analisa tsunami dilakukan dengan bantuan *software* Flow 3D. Hasil pemodelan menunjukkan tinggi genangan untuk skenario kondisi eksisting mencapai 16,03 m, sedangkan pada skenario bandara tanpa mitigasi didapatkan tinggi genangan mencapai 19,88 m, kemudian pada skenario bandara dengan mitigasi didapatkan tinggi genangan 17,22 m. Luas genangan tsunami untuk ketiga skenario pemodelan mencapai 5,2 km<sup>2</sup>. Waktu inundasi skenario pemodelan dari pantai menuju bandara adalah 1-2 menit. Penambahan *sand dunes* dan polder dapat meredam ketinggian tsunami sekitar 2 meter dengan waktu efektifitas yang bervariasi pada tiap titik observasi.

**Kata Kunci**— Tsunami, Bandara Kulon Progo, *Run Up*, Mitigasi, Inundasi.

## **MODELLING OF RUN UP TSUNAMI USING PLURAL SCENARIOS (CASE STUDY KULON PROGO AIRPORT)**

Name : Dikky Yuniansyah  
Reg. Number : 04311340000033  
Department : Ocean Engineering, FTK – ITS  
Supervisors : Haryo Dwito Armono, S.T., M. Eng., Ph. D.  
Dr. Ing. Ir. Widjo Kongko, M. Eng. (BPPT Yogyakarta)

### **Abstract**

Tsunami is a phenomenon in which sea wave travels at approximately 900 km/hour and is usually triggered by earthquake on the seabed. An area of Indonesia prone to tsunami is the southern area of Java; one of which is sub-district of Temon, district of Kulon Progo, Yogyakarta, a location where the project of New Yogyakarta International Airport (NYIA) will be built. Therefore, tsunami and disaster mitigation modeling is needed in order to anticipate the occurrence of tsunami. The model will be used to predict the inundation area, the inundation time of tsunami and the effectiveness of sand dunes and polder as a form of Tsunami disaster mitigation. This study models three different scenarios, namely: i) scenario of the existing condition (before the airport was built), ii) scenario after the airport was built, and iii) scenario of tsunami using sand dunes and polder as the mitigation measures. Modeling and analysis of tsunami is conducted using Flow 3D software. From the modelling result, the run up height of the inundation in the scenario of the existing condition is 16.03 m; meanwhile, in the scenario of airport without mitigation measures, the height of inundation is 19.88 m. In the scenario of airport modeling with mitigation, the height is 17.22 m. The width of the inundation of the three scenarios is up to 5.2 km<sup>2</sup>. The inundation period of the modeling scenario from coast to the airport is about 1 – 2 minutes. The addition of sand dunes and polder can possibly reduce the height of the tsunami about 2 meters, varying in terms of time effectiveness at each observation point.

**Keyword:** Tsunami, Kulon Progo Airport, Run Up, Mitigation, Inundation.

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya. Sholawat serta salam juga penulis haturkan kepada junjungan seluruh umat manusia Rasulullah Muhammad SAW

Tugas Akhir ini berjudul "*Pemodelan Run Up Tsunami Menggunakan Data Detil Dengan Skenario Jamak, Studi Kasus Bandara Kulon Progo*". Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini secara khusus akan membahas mengenai simulasi *run up* tsunami yang dimodelkan dengan *software* Flow 3D untuk melihat seberapa besar jarak dan tinggi genangan run up. Selain itu juga akan membahas mengenai waktu inundasi akibat tsunami dan efektivitas *sand dunes*-polder sebagai mitigasinya. Adanya Tugas Akhir ini diharapkan dapat menambah wawasan pembaca tentang tsunami yang terjadi khususnya di selatan jawa.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran guna meningkatkan kemampuan menyusun laporan yang lebih baik lagi ke depannya. Penulis juga berharap semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 2018

Dikky Yuniansyah

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam pengerjaan Tugas Akhir hingga selesainya Tugas Akhir ini. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT. Yang telah memberikan Rahmat serta kasih sayang-NYA, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Agus Sudjono dan Ibu Sri Sulistyani, selaku kedua orang tua penulis, mbak Ita, dan mas Riki selaku kakak-kakak penulis, yang tak kenal lelah mendoakan dan memberikan dukungan serta semangat kepada penulis.
3. Haryo Dwito Armono, S.T., M. Eng., Ph. D. selaku dosen pembimbing I dan Dr. Ing. Ir. Widjo Kongko, M. Eng. selaku dosen pembimbing II.
4. Dosen penguji yang memberikan banyak pelajaran dan membantu perbaikan Tugas Akhir saya sehingga Tugas Akhir saya bisa selesai.
5. BPPT Yogyakarta yang membantu dan memberikan data-data untuk Tugas Akhir saya dan Hilmi Aziz S.T. selaku mentor magang di BPPT Yogyakarta.
6. Estka Eko Fadhil selaku teman sejawat penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan Mahfud Muqodas yang membagikan banyak ilmunya dan selalu saya repotkan.
7. Dian Fiddini Mahanani S.T. yang telah memberi motivasi berlebih untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman Valtameri Teknik Kelautan Angkatan 2013, yang selalu memberi dukungan semasa kuliah, khususnya Daniel, Resy, Caca, dan Dimas.
9. Sahabat-sahabat di Labkom, Opres, Mektan, FTK ITS yang selalu menjadi teman berkumpul dan berdiskusi untuk saling bertukar ilmu.
10. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada penulis selama menjalani perkuliahan.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>COVER PAGE .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Dasar Teori .....	7
2.2.1 Pengertian Tsunami .....	7
2.2.2 Fase Tsunami .....	9
2.2.3 Variabel Gelombang Tsunami .....	11
2.2.4 Inundasi .....	12
2.2.5 Batimetri .....	13
2.2.6 Persamaan Kontinuitas dan Persamaan momentum (Navier-Stokes Equation, Reynold Equations).....	14
2.2.7 Deformasi Dasar Laut .....	19
2.2.8 Mitigasi Bencana Tsunami .....	20



2.2.9	<i>Software Flow 3D</i> .....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	23
3.2	Penjelasan Diagram Alir .....	24
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN</b> .....		
4.1	Pengumpulan Data .....	29
4.1.1	Data Batimetri dan Topografi .....	29
4.1.2	Data tsunami .....	30
4.2	Pemodelan Menggunakan Flow 3D .....	31
4.2.1	<i>Setting Inputan Model</i> .....	31
4.2.2	Pemodelan.....	31
4.2.3	<i>Running Data</i> .....	32
4.3	Validasi Model .....	33
4.4	Pemodelan Hipotetik.....	35
<b>BAB IV PENUTUP</b> .....		
5.1	Kesimpulan .....	45
5.2	Saran .....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		47
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>LAMPIRAN A HASIL VALIDASI FLOW 3D DENGAN DATA</b>		
<b>LAPANGAN</b> .....		49
<b>LAMPIRAN B DATA INPUT TSUNAMI HIPOTETIK</b> .....		50
<b>LAMPIRAN C HASIL VISUALISASI</b> .....		57
<b>LAMPIRAN D HASIL TITIK OBSERVASI</b> .....		61
<b>LAMPIRAN E HASIL TITIK OBSERVASI SAND DUNES</b> .....		70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kejadian gempa (titik) & tsunami berikutnya (bintang) (Sumber : Kongko W. dan Schlurmann T., 2010).....	1
Gambar 1.2 Layout <i>New Yogyakarta International Aairport</i> (NYIA) (BTIPDP BPPT Yogyakarta, 2017).....	2
Gambar 1.3 Lokasi pemodelan di pantai Glagah, Kulon Progo, Yogyakarta (Google Earth, 2017) .....	3
Gambar 2.1 Karakteristik gelombang tsunami ( <a href="http://www.globalsecurity.org">www.globalsecurity.org</a> ).....	8
Gambar 2.2 Awal pembentukan tsunami ( <a href="http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami">walrus.wr.usgs.gov/tsunami</a> ) .....	9
Gambar 2.3 Split pada tsunami ( <a href="http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami">walrus.wr.usgs.gov/tsunami</a> ) .....	10
Gambar 2.4 Peningkatan amplitudo gelombang ( <a href="http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami">walrus.wr.usgs.gov/tsunami</a> ) .....	10
Gambar 2.5 <i>Run Up</i> tsunami ( <a href="http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami">walrus.wr.usgs.gov/tsunami</a> ) .....	11
Gambar 2.6 Jarak Inundasi (IOC Manuals and Guides, 2014).....	13
Gambar 2.7 Model aliran: (a) volume kontrol ( <i>control volume</i> ), (b) elemen kecil tak berhingga ( <i>infinitesimal fluid element</i> ) (Anderson J.D. Jr., 1995) .....	16
Gambar 2.8 Pemisahan kecepatan sesaat kedalam komponen kecepatan rata-rata dan fluktuasi kecepatan (Anderson J.D. Jr., 1995) .....	17
Gambar 2.9 Desain parameter sesar (Imamura <i>et al.</i> 2006) .....	20
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian .....	23
Gambar 3.2 Sumber gempa dari patahan menuju selatan pulau jawa (BPPT Yogyakarta) .....	25
Gambar 3.3 Titik validasi di daerah Cilacap (BPPT Yogyakarta) .....	26
Gambar 3.4 Kondisi skenario pemodelan eksisting .....	27
Gambar 3.5 Kondisi skenario pemodelan bandara (2D) .....	27
Gambar 3.6 (a) Kondisi skenario pemodelan bandara dan mitigasi (2D) variasi 1 .....	27
Gambar 3.6 (b) Kondisi skenario pemodelan bandara dan mitigasi (2D) variasi 2 .....	27
Gambar 3.6 (c) Kondisi skenario pemodelan bandara dan mitigasi (2D) variasi 3 .....	27

Gambar 3.6 Hasil simulasi pembentukan inti pusaran air dalam simulasi tsunami, divisualisasikan dengan FlowSight, lokasi di Pelabuhan Imwon di Korea selama tsunami (Flow3d.com) .....	28
Gambar 4.1 Hasil pengolahan data batimetri dan topografi pada skenario pemodelan bandara dan mitigasi dengan menggunakan Global Mapper .....	29
Gambar 4.2 Titik pusat gempa pembangkitan tsunami .....	30
Gambar 4.3 <i>Settting input</i> model Flow 3D .....	31
Gambar 4.4 Tampilan skenario pemodelan bandara dan mitigasi .....	32
Gambar 4.5 Proses <i>running</i> pada Flow 3D .....	32
Gambar 4.6 Hasil running 3 dimensi Flow 3D .....	33
Gambar 4.7 Lokasi titik validasi .....	33
Gambar 4.8 Titik input validasi .....	34
Gambar 4.9 Perbandingan pengukuran dengan hasil Flow 3D.....	34
Gambar 4.10 Titik observasi: (a) titik observasi skenario pemodelan eksisting, (b) titik observasi skenario pemodelan bandara, (c) titik observasi skenario pemodelan bandara dan mitigasi .....	36
Gambar 4.11 Hasil 3D pada skenario pemodelan eksisting (a) detik ke-0, (b) detik ke-180, (c) detik ke-3360, (d) detik ke-5400 .....	37
Gambar 4.12 Hasil 3D pada skenario pemodelan bandara (a) detik ke-0, (b) detik ke-1079, (c) detik ke-2159, (d) detik ke-5400 .....	38
Gambar 4.13 Hasil 3D pada skenario pemodelan bandara dan mitigasi (a) detik ke-0, (b) detik ke-120, (c) detik ke-1619, (d) detik ke-5400 .....	39
Gambar 4.14 Perbandingan waktu tiba terhadap tinggi tsunami pada skenario pemodelan eksisting.....	40
Gambar 4.15 Perbandingan waktu tiba terhadap tinggi tsunami pada skenario pemodelan bandara .....	40
Gambar 4.16 Perbandingan waktu tiba terhadap tinggi tsunami pada skenario pemodelan bandara dengan mitigasi .....	41
Gambar 4.17 Empat titik observasi <i>sand dunes</i> .....	42

Gambar 4.18 Efektivitas <i>sand dunes</i> pada, (a) titik observasi <i>sand dunes</i> 1, (b) titik observasi <i>sand dunes</i> titik 2, (c) titik observasi <i>sand</i> <i>dunes</i> 3.....	41
---	----

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil perhitungan RMSE, NRMSE, dan persen error .....	35
Tabel 4.2 Ketinggian topografi tiap titik observasi .....	36
Tabel 4.3 ketinggian topografi 3 titik observasi <i>sand dunes</i> .....	42
Tabel 4.4 Hasil akhir.....	44
Tabel 4.5 Hasil mitigasi tsunami .....	44

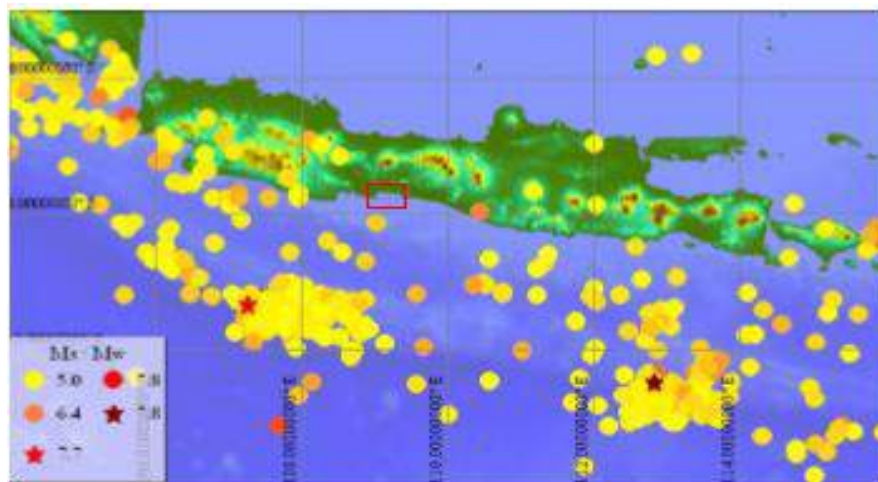
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tsunami adalah suatu peristiwa rangkaian gelombang laut yang menjalar dengan kecepatan kurang lebih sebesar 900 km per jam. Gelombang ini biasanya ditimbulkan akibat dari adanya gempa bumi yang terjadi di dasar laut. Sebagai negara yang terletak di pertemuan lempeng *Eurasian*, *India-Australian*, *Pacific plates* Indonesia mempunyai kerawanan tinggi terhadap bencana tsunami (Lavigne, 2007). Salah satu wilayah Indonesia yang rawan terjadi tsunami yaitu bagian Selatan Pulau Jawa. Wilayah pesisir bagian selatan Pulau Jawa merupakan wilayah yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia. Dalam hal ini, merupakan zona pertemuan antara lempeng tektonik *Eurasian* dan *Indian-Australian*.

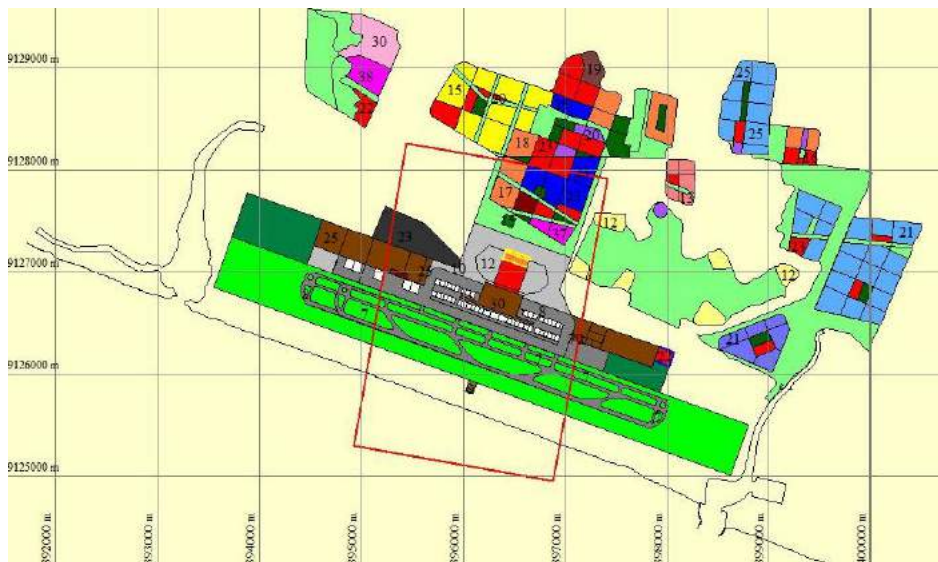
Berdasarkan data historis, telah terjadi sekitar 420 kejadian gempa di zona subduksi Jawa dalam periode 1977-2007 dengan koordinat yang melintang, pada magnitudo diatas 5.0 Ms dan *hypocenter* yang lebih dangkal dari 40 km (Gambar 1.1). Dari rentang waktu tersebut, terdapat dua kejadian signifikan pada tahun 1994 dan 2006. Masing-masing diikuti oleh tsunami yang cukup besar dan menyebabkan kerusakan serta korban di pantai selatan Jawa (ITDB / WLD 2007). Menurut database USGS tahun 2010, terdapat 20 peristiwa tsunami dengan besaran di atas 6.5 Mw dan kedalaman kurang dari 100 km.



**Gambar 1.1** Kejadian gempa (titik) & tsunami berikutnya (bintang)

(Kongko W. dan Schlurmann T., 2010)

Mega tsunami 11 Maret 2011 yang melanda pesisir Timur Jepang, menjadi bukti bahwa infrastruktur bandara di negara maju seperti Jepang tidak luput dari terjangan tsunami. Bandara Sendai di Prefektur Miyagi yang berada di ketinggian 1,7 meter di atas permukaan laut, juga menjadi sasaran tsunami meski jaraknya 1 km dari bibir pantai. Berjarak kurang lebih 6 ribu km dari Bandara Sendai, tepatnya di Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta sebuah lokasi rencana proyek *New Yogyakarta International Airport (NYIA)* atau Bandara Kulon Progo sedang disiapkan (Gambar 1.2). Bandara ini akan dibangun di pantai Glagah, tepatnya antara sungai Serang dengan sungai Bogowonto (Gambar 1.3). Pembangunan bandara ini merupakan infrastruktur transportasi yang dinilai strategis dalam upaya peningkatan perekonomian lokal.



**Gambar 1.2** Layout *New Yogyakarta International Aairport (NYIA)*  
(BTIPDP BPPT Yogyakarta, 2017)

Wilayah Temon yang akan dibangun *New Yogyakarta International Airport (NYIA)* sangat rawan terhadap bahaya tsunami. Artinya, bila gempa terjadi dan berpotensi tsunami, area bandara dipastikan terendam air dari gelombang tsunami. Tinggi rayapan (*run up*) saat mencapai pantai akan mempengaruhi distribusi dan jarak genangan ke arah daratan. Tsunami dapat menerjang wilayah yang berjarak ribuan kilometer dari sumbernya, sehingga kemungkinan terdapat selisih waktu beberapa jam antara terciptanya gelombang dengan

bencana yang ditimbulkan. Waktu perambatan gelombang tsunami lebih lama dari waktu yang diperlukan oleh gelombang seismik untuk mencapai tempat yang sama (Nanin Trianawati S.,2008).



**Gambar 1.3** Lokasi pemodelan di pantai Glagah, Kulon Progo, Yogyakarta.  
(Google Earth, 2017)

Oleh karena itu perlu dilakukan upaya pemodelan tsunami dan mitigasi bencana untuk mengantisipasi datangnya bencana tsunami. Mitigasi Bencana adalah upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik secara struktur atau fisik melalui pembangunan fisik alami dan/atau buatan maupun nonstruktur atau nonfisik melalui peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana (UU No.27 Thn 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau -pulau Kecil). Mitigasi bencana yang dilakukan berupa rekayasa ruang dan bukit-bukit pasir (*sand dunes*). Detail mitigasi untuk rekayasa ruang dan bukit-bukit pasir bertujuan agar waktu datang tsunami menjadi lebih lambat. Oleh sebab itu perlu kombinasi antara rekayasa ruang dengan bukit-bukit pasir. Pemodelan tsunami bertujuan untuk mendapatkan mitigasi yang efektif serta untuk mengetahui penyebaran gelombang tsunami dari sumber terhadap wilayah Bandara Kulon Progo.

Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan tsunami menggunakan bantuan *software* Flow 3D untuk menganalisa proses genangan tsunami



berdasarkan topografi wilayah Kabupaten Kulon Progo. Dari hasil analisa ini diharapkan dapat menunjukkan wilayah yang terkena hempasan tsunami, waktu inundasi gelombang tsunami dan ketinggian tsunami yang terjadi. Selain itu, hasil dari penelitian ini akan didapatkan model efektif *sand dunes* dan polder yang sesuai untuk mitigasi bencana tsunami.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah

1. Berapa luas daerah genangan tsunami dan tinggi gelombang tsunami yang terjadi di *New Yogyakarta International Airport*?
2. Berapa waktu inundasi gelombang tsunami yang terjadi di *New Yogyakarta International Airport*?
3. Bagaimana model efektif *sand dunes-polder* untuk mitigasi bencana Tsunami di *New Yogyakarta International Airport* ?

### **1.3. Tujuan**

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui luas daerah genangan tsunami dan tinggi gelombang tsunami yang terjadi di *New Yogyakarta International Airport*
2. Mengetahui waktu inundasi gelombang tsunami yang terjadi di *New Yogyakarta International Airport*
3. Mengetahui efektifitas *sand dunes-polder* untuk mitigasi bencana Tsunami di *New Yogyakarta International Airport*

### **1.4. Manfaat**

Adapun manfaat dilakukan penelitian ini adalah sebagai bahasan referensi baik untuk masyarakat maupun pemerintah dalam upaya mitigasi bencana tsunami di *New Yogyakarta International Airport*, Kabupaten Kulon Progo.

### **1.5. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah

1. Lokasi pemodelan tsunami berada di Pantai Glagah (  $7^{\circ} 54' 16,8''$  S -  $7^{\circ} 54' 39,8''$  S dan  $110^{\circ} 2' 52,9978''$  E -  $110^{\circ} 3' 54,387''$  E), Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta
2. Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Flow 3D
3. Simulasi pemodelan menggunakan 3 skenario

4. Bangunan bandara dan mitigasi dianggap solid atau bangunan tidak bergerak (*non-moving object*)
5. Data tsunami, topografi dan batimetri berdasarkan penelitian BTIPDP BPPT Yogyakarta
6. Mitigasi hanya berupa *sand dunes* dan *polder*
7. Sumber tsunami untuk hipotetik berada di  $11^{\circ} 44' 09,8643''$  S,  $109^{\circ} 31' 50,6744''$  E ( $\pm 550$  km dari pantai)
8. Ukuran lokasi yang dimodelakan adalah  $3 \times 2$  km.
9. Variasi mitigasi ditetapkan hanya 3 variasi

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### **BAB I Pendahuluan**

Bab ini menjelaskan beberapa hal tentang penelitian dalam tugas akhir ini, yaitu masalah yang melatarbelakangi penelitian sehingga penting untuk dilakukan, perumusan masalah yang menjadi persoalan dan perlu dijawab, tujuan yang hendak dicapai, manfaat yang diperoleh, serta ruang lingkup penelitian (batasan masalah) untuk membatasi analisis yang dilakukan.

### **BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori**

Bab ini berisi referensi serta teori-teori pendukung yang digunakan sebagai acuan atau pedoman dalam penelitian. Referensi tersebut dapat berasal dari jurnal lokal maupun internasional, literatur, tugas akhir terdahulu dan juga buku yang berkaitan dengan topik yang dibahas.

### **BAB III Metodologi Penelitian**

Bab ini berisi tentang metode atau langkah-langkah dalam pengerjaan tugas akhir dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang dilengkapi dengan penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya.

#### **BAB IV Analisa dan Pembahasan Hasil**

Bab ini menjelaskan tentang pengolahan data yang diperoleh, dan pemodelan tsunami. Selanjutnya, dalam bab ini juga dilakukan pembahasan dan pengolahan *output* yang diperoleh dari hasil *running software* Flow 3D, yang mencakup analisis *free surface* 3D, kalibrasi data, serta validasi yang dilakukan dengan data pengukuran tsunami asli.

#### **BAB V Kesimpulan dan Saran**

Bab ini berisi kesimpulan yang merupakan uraian singkat dari keseluruhan hasil analisis. Uraian singkat ini diharapkan bisa menjawab rumusan masalah yang ada pada Bab I. Pada bab ini juga berisikan saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian terkait kedepannya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Tsunami merupakan gelombang laut dengan periode panjang yang terjadi pada medium laut akibat adanya gempa bumi tektonik di laut. Tinggi gelombang akibat tsunami diperkirakan sekitar 0,5 hingga 3 meter dan panjang gelombangnya lebih dari puluhan kilometer (Zaitunah A. 2012). Selama penjalaran dari tengah laut menuju pantai, tinggi gelombang akan semakin besar karena adanya penumpukan masa air (Diposaptono dan Budiman, 2008).

Menurut BMG (2006), magnitudo tsunami yang terjadi di Indonesia berkisar antara 1,5-4,5 skala Imamura, dengan tinggi gelombang tsunami maksimum yang mencapai pantai berkisar antara 4-24 meter dan jangkauan gelombang ke daratan berkisar antara 50 sampai 200 meter dari garis pantai. Gempa bumi yang berpotensi menyebabkan tsunami memiliki kedalaman pusat gempa kurang dari 60 km, dan magnitudo gempa lebih besar dari 6.0 skala richter.

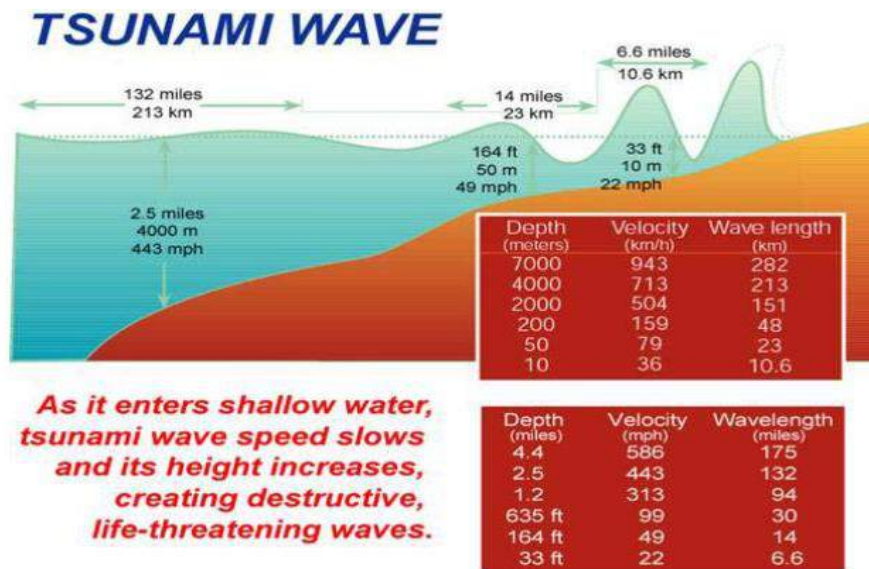
Menurut Penelitian Zaitunah A. (2012), tinggi gelombang Tsunami di pantai selatan Jawa Barat tahun 2006 bervariasi 2-8 meter. Ketika tinggi gelombang 7,5 meter memasuki daratan, maka sekitar 4% daerah daratan akan tergenang. Masih menurut penelitian Zaitunah A. (2012), bahwa dengan ketinggian gelombang 7,5 meter, sebagian air masuk ke daratan sejauh 2 meter dari pantai.

Melihat dari penelitian yang pernah dilakukan oleh Kongko W. dan Schlurmann T. (2010), tentang tsunami di Jawa tahun 2006, bahwa mitigasi untuk tsunami di Jawa dapat berupa 2 jenis secara *soft engineering* seperti *green belt*, atau *hard engineering* seperti bukit pasir. Hal itu dinilai cukup efektif untuk pengurangan luas genangan.

#### **2.2. Dasar Teori**

##### **2.2.1. Pengertian Tsunami**

Tsunami adalah rangkaian gelombang laut yang mampu menjalar dengan kecepatan hingga lebih 900 km per jam, terutama diakibatkan oleh gempa bumi yang terjadi di dasar laut (Gambar 2.1).



**Gambar 2.1** Karakteristik gelombang tsunami

(Sumber: <http://www.globalsecurity.org/eye/andaman-pix2.htm>.)

Kecepatan gelombang tsunami bergantung pada kedalaman air laut. Pada kedalaman 7000 m, kecepatannya bisa mencapai 943 km/jam. Namun demikian tinggi gelombangnya tidak lebih dari 60 cm. Akibatnya kapal-kapal yang sedang berlayar di atasnya jarang merasakan adanya tsunami.

Gelombang tsunami memiliki panjang gelombang lebih dari 100 km dan selisih waktu antar puncak gelombangnya berkisar antara 10 menit hingga 1 jam. Saat mencapai pantai, kecepatan gelombang akan menurun namun tinggi gelombangnya meningkat puluhan meter dan bersifat merusak.

Dalam kecepatan penjalaran, gelombang tsunami merupakan salah satu bentuk gelombang yang bergantung pada kedalaman perairan dan tidak bergantung pada periode gelombang. Secara matematis hubungan antara korelasi tersebut dapat ditunjukkan sebagai persamaan 2.1

$$v = \sqrt{gh} \text{ dan } \lambda = vT \quad (2.1)$$

Keterangan :

$v$  = kecepatan gelombang tsunami (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi bumi ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

$h$  = kedalaman batrimetri (m)

$\lambda$  = panjang gelombang tsunami (m)

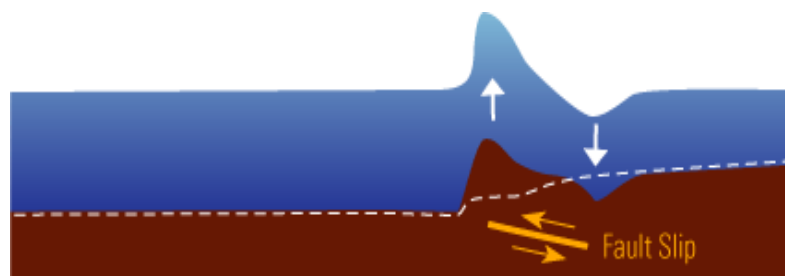
$T$  = periode gelombang (s)

Gelombang tsunami sangat unik dan secara fundamental berbeda dengan gelombang yang dihasilkan oleh angin. Gelombang tsunami tidak hanya memiliki panjang gelombang yang jauh lebih panjang daripada gelombang yang dihasilkan angin, namun juga memiliki periode yang lebih lama. Gelombang tsunami memiliki periode hingga satu jam. *Wind chop* (gelombang yang digunakan peselancar) memiliki periode yang jauh lebih pendek hanya 17-20 detik.

#### 2.2.2. Fase Tsunami

##### a) Kondisi Awal

Gempa bumi biasanya berhubungan dengan goncangan permukaan yang terjadi sebagai akibat perambatan gelombang elastik (*elastic waves*) melewati batuan dasar ke permukaan tanah. Pada daerah yang berdekatan dengan sumber-sumber gempa laut (patahan), dasar lautan sebagian akan terangkat (*uplifted*) secara permanen dan sebagian lagi turun ke bawah (*down-dropped*), sehingga mendorong kolom air naik dan turun (Gambar 2.2). Energi potensial yang diakibatkan dorongan air ini, kemudian berubah menjadi gelombang tsunami atau energi kinetik di atas elevasi muka air laut rata-rata (*mean sea level*) yang merambat secara horisontal. Kasus yang diperlihatkan adalah keruntuhan dasar lereng kontinental dengan lautan yang relatif dalam akibat gempa. Kasus ini dapat juga terjadi pada keruntuhan lempeng kontinental dengan kedalaman air dangkal akibat gempa.



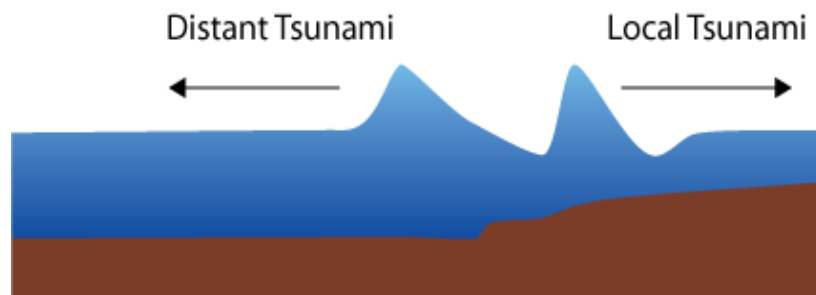
**Gambar 2.2** Awal pembentukan tsunami

(Sumber: <https://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/basics.html>)

##### b) *Split*

Beberapa menit setelah terjadinya gempa, tsunami awal (Gambar 2.2) terbagi menjadi tsunami yang menuju ke samudera (tsunami berjarak) dan

tsunami yang bergerak menuju pantai terdekat (tsunami lokal). Ketinggian permukaan air rata-rata dari dua tsunami yang berlawanan tersebut biasanya setengah dari tsunami asli. Kecepatan kedua tsunami tersebut diperkirakan seperti akar kuadrat dari kedalaman air. Tsunami yang merambat ke samudera bergerak lebih cepat daripada tsunami lokal di dekat pantai.

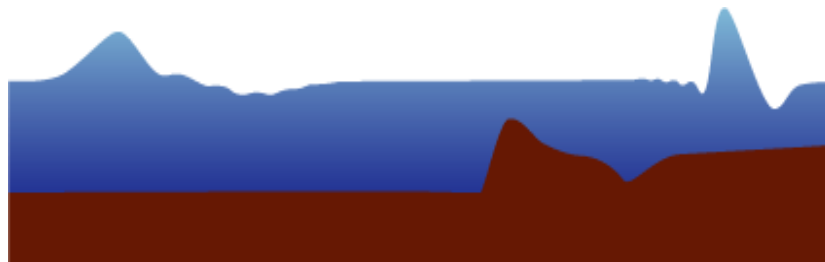


**Gambar 2.3** Split pada tsunami

(Sumber: <https://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/basics.html>)

#### c) Amplifikasi

Pada waktu tsunami lokal merambat melewati lereng kontinental, sering terjadi hal-hal seperti peningkatan amplitudo gelombang dan penurunan panjang gelombang. Setelah mendekati daratan dengan lereng yang lebih tegak, akan terjadi rayapan gelombang.



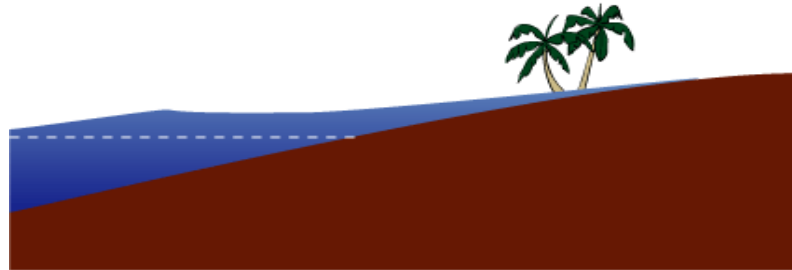
**Gambar 2.4** Peningkatan amplitudo gelombang

(Sumber: <https://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/basics.html>)

#### d) Run up (Rayapan)

Pada saat gelombang tsunami merambat dari perairan dalam, akan melewati bagian lereng kontinental sampai mendekati bagian pantai dan terjadi rayapan tsunami (Gambar 2.5). Rayapan tsunami adalah ukuran tinggi air di pantai terhadap muka air laut rata-rata yang digunakan sebagai acuan. Dari pengamatan berbagai kejadian tsunami, pada umumnya tsunami tidak menyebabkan gelombang tinggi yang berputar setempat (gelombang

akibat angin yang dimanfaatkan oleh peselancar air untuk meluncur di pantai). Namun, tsunami datang berupa gelombang kuat dengan kecepatan tinggi di daratan yang berlainan seperti diuraikan pada Amplikasi, sehingga rayapan gelombang pertama bukanlah rayapan tertinggi (Anonim, usgs.gov, 2013).



**Gambar 2.5** *Run Up* tsunami

(Sumber: <https://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/basics.html>)

Tsunami tidak langsung berhenti setelah menghempas daratan. Setelah *run up*, bagian energi tsunami dipantulkan kembali dan disebarkan ke laut lepas. Selain itu, tsunami dapat menghasilkan jenis gelombang terperangkap pada area pesisir yang disebut gelombang tepi, yang bergerak maju mundur dan sejajar dengan pantai. Hal ini berakibat pada banyaknya kedatangan tsunami pada titik tertentu di pantai. Karena adanya kerumitan perilaku gelombang tsunami di dekat pantai, *run up* awal seringkali bukan yang terbesar. Oleh karena itu menekankan pentingnya untuk tidak kembali ke pantai berjam-jam setelah tsunami melanda pertama kali.

### 2.2.3. Variabel Gelombang Tsunami

Menurut Triatmadja R.(2010), *run-up* tsunami sangat tergantung pada kondisi dan karakteristik gelombang.termasuk beberapa variabel berikut:

1. Daya tempuh tsunami dipengaruhi oleh kemiringan daratan atau lereng, semakin curam daratan maka semakin pendek daya tempuh gelombang tsunami.
2. Rintangan dapat mengurangi kekuatan tsunami. Semakin banyak rintangan di sekitar pantai, kekuatan tsunami akan lebih teredam dan kerusakan yang dihasilkan tidak terlalu besar. Rintangan yang dimaksud seperti pohon, rumah, serta infrastuktur.



3. *Roughness* atau kekasaran pantai, yaitu ada tidaknya penghalang seperti terumbu karang atau benda – benda lain yang berada di sekitar pantai.
4. Panjang gelombang tsunami. Apabila gelombang tsunami pendek, maka tidak dapat bergerak menuju daratan. Sebaliknya, apabila gelombang tsunami yang terjadi panjang, maka gelombang tsunami tersebut akan menuju daratan.
5. Ketinggian gelombang tsunami. Jika gelombang tsunami yang terjadi rendah, kemungkinan tidak akan masuk ke daratan. Namun sebaliknya, jika gelombang tsunami tinggi, kemungkinan besar akan masuk ke daratan.

Berikut solusi analitis untuk aproksimasi nonlinear besarnya tinggi *run up* untuk *Solitary Wave* dalam persamaan gelombang Tsunami.

$$\frac{R_s}{h_o} = 2.831 \sqrt{\cot \beta} \left( \frac{H}{h_o} \right)^{5/4}$$

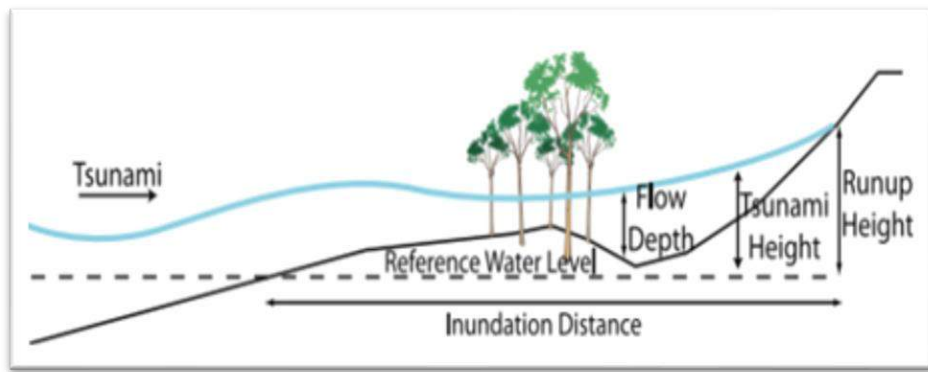
(2.2)

Dengan :

- $R_s$  = maksimum run up
- $H_o$  = kedalaman air normal
- $H$  = tinggi gelombang
- $\beta$  = sudut kemiringan *shore line*

#### 2.2.4. Inundasi

*Inundation* atau yang disebut penggenangan tsunami adalah fase akhir dari tsunami yang paling merusak wilayah yang terkena tsunami. Wilayah inundasi atau wilayah penggenangan tsunami adalah daerah yang terbanjiri oleh genangan air yang disebabkan oleh gelombang tsunami (Gambar 2.6). Pengukuran inundasi dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya dengan menghitung jarak antara vegetasi yang hidup dan mati. Dikarenakan adanya variable kompleks seperti : batimetri, topografi dan elevasi sepanjang garis pantai, simulasi proses ini digolongkan sangat sulit.



**Gambar 2.6** Jarak Inundasi  
(IOC Manuals and Guides, 2014)

Menurut Pignatelli, 2009, berdasarkan dari pengamatan yang telah dilakukan jarak maksimum dari gelombang tsunami yang menuju daratan dapat dihitung dengan persamaan 2.3.

$$x_{maks} = (H_t)^{1.33} n^{-2} k \cos \beta_1 \quad (2.3)$$

Dengan:

- $X_{maks}$  = batas maksimum ke darat (inundasi) dalam m
- $H_t$  = tinggi tsunami diukur dari mean sea level
- $k$  = konstanta = 0,06
- $n$  = konstanta Manning (konstanta kekasaran)
- $\beta_1$  = sudut kemiringan permukaan tanah

Tiap daerah memiliki besaran  $n$  yang berbeda – beda, seperti area pepohonan memiliki  $n = 0,07$ ; daerah yang tertutup bangunan memiliki  $n = 0,03$ ; daerah seperti dataran rawa atau padang rumput memiliki  $n = 0,015$  (Hills dan Mader, 1997).

#### 2.2.5. Batimetri

Batimetri merupakan ilmu yang mempelajari kedalaman di bawah air dan Pelaksanaan Survei batimetri ditujukan untuk mendapatkan data kedalaman dan kondisi topografi dasar laut, disamping itu juga identifikasi lokasi obyek-obyek yang mungkin membahayakan. Pemetaan batimetri dilakukan tiga tahap, yaitu pengumpulan data, pengolahan data dan penyajian data (Rismanto A. ,2011). Untuk memperoleh peta batimetri yang

akurat di perairan, diperlukan pengamatan pasut dan survei batimetri yang sesuai spesifikasi pekerjaan. Hal tersebut dilakukan agar kedalaman yang terdapat dalam peta batimetri terdefinisi dengan baik terhadap MSL atau bidang referensi. Termasuk juga sebagai koreksi kedalaman terhadap fluktuasi muka air laut

Pemetaan batimetri merupakan kebutuhan dasar dalam penyediaan informasi spasial dalam perencanaan, kegiatan dan pengambilan keputusan terkait informasi di bidang kelautan (Soeprapto, 2001). Peta batimetri dalam aplikasinya memiliki banyak manfaat dalam bidang pekerjaan rekayasa, antara lain penentuan jalur pelayaran yang aman, perencanaan bangunan pinggir pantai, pendeteksian adanya potensi bencana tsunami di suatu wilayah, dan pertambangan minyak lepas pantai. Selain itu, peta batimetri diperlukan untuk mengetahui kondisi morfologi suatu daerah perairan. Peta batimetri harus selalu diperbarui sesuai dengan perubahan dan perkembangan kondisi perairan tersebut, hal ini dikarenakan kondisi laut yang sangat dinamis.

Salah satu metode yang diterapkan pada pengukuran batimetri yaitu dengan menggunakan teknologi akustik dasar laut. Akustik dasar laut mempunyai keterkaitan antara lain dalam proses perambatan suara pada medium air yang mampu memberikan informasi dasar perairan, komunikasi dan penentuan posisi di perairan. Salah satu teknologi akustik dalam pemetaan batimetri yaitu dengan menggunakan *echosounder*. Alat ini memiliki kelebihan dalam hal pengukuran kedalaman pada daerah yang luas dan juga memiliki nilai kedalaman yang akurat.

#### 2.2.6. Persamaan Kontinuitas dan Persamaan momentum (Navier-Stokes Equation, Reynold Equations)

Air digolongkan sebagai fluida tak mampat, dikarenakan kerapatan massanya (*density*,  $\rho$ ), konstan. Persamaan kontinuitas dan momentum untuk aliran air jika ditulis dalam koordinat Cartesius adalah sebagai berikut.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + g_x \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial vu}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + g_y \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial wu}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial y} + \frac{\partial ww}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + g_z \quad (2.7)$$

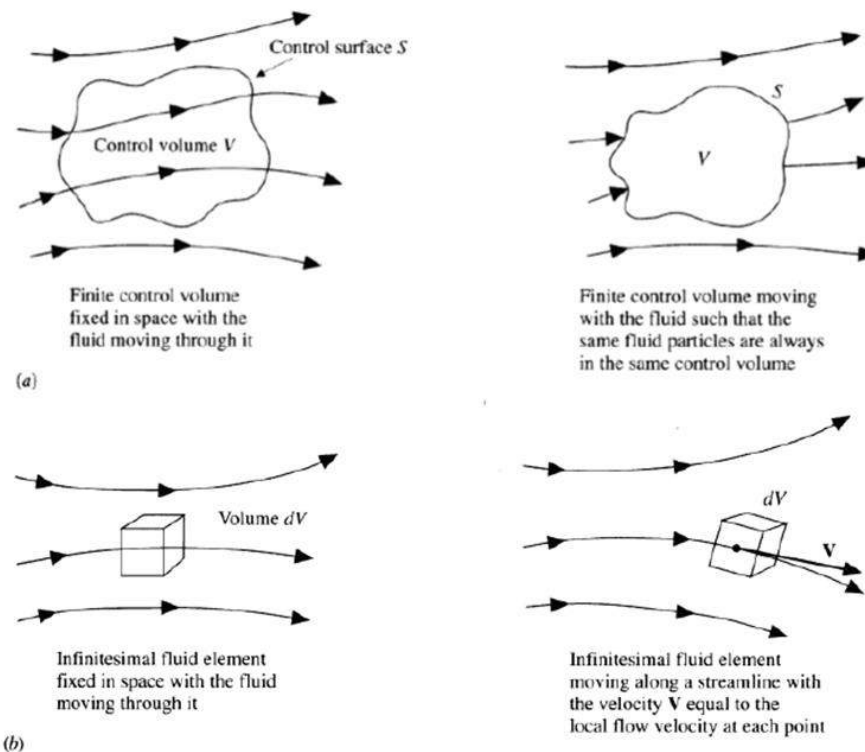
Dengan:

- t = waktu
- x, y, z = sumbu koordinat arah longitudinal, transversal, dan vertikal
- u, v, w = kecepatan sesaat aliran arah x, y, dan z
- p = tekanan
- gx, gy, gz = percepatan gravitasi arah x, y, dan z
- $\tau_{ij}$  = tegangan geser (merupakan fungsi kecepatan dan kekentalan air) arah *j* yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu *i*

Persamaan-persamaan di atas, (persamaan kontinuitas, Persamaan 2.4 dan persamaan momentum, Persamaan 2.5 - 2.7), dikenal sebagai Persamaan Navier-Stokes. Sebenarnya, secara historis yang disebut dengan persamaan Navier-Stokes adalah persamaan momentum saja. Namun, dalam literatur CFD modern, terminologi persamaan Navier-Stokes diperluas cakupannya, tidak hanya mencakup persamaan momentum, tetapi juga persamaan kontinuitas dan persamaan energi. Bentuk persamaan Navier-Stokes seperti disajikan pada Persamaan 1 sampai dengan 4 di atas hanya merupakan salah satu dari empat bentuk yang biasa dijumpai; keempat bentuk tersebut adalah:

- 1) persamaan diferensial konservatif,
- 2) persamaan diferensial non-konservatif,
- 3) persamaan integral konservatif, dan
- 4) persamaan integral non-konservatif.

Persamaan 2.4 – 2.7 merupakan bentuk persamaan diferensial konservatif. Perbedaan bentuk persamaan berasal dari cara persamaan-persamaan tersebut diturunkan dari penerapan prinsip fundamental fisika: dengan memakai konsep volume kontrol (*control volume*) yang akan menghasilkan bentuk persamaan integral, atau konsep elemen kecil tak berhingga (*infinitesimal fluid element*) yang akan menghasilkan bentuk persamaan diferensial. Bentuk persamaan konservatif didapat apabila volume kontrol atau elemen infinit tetap (tidak berpindah tempat), sedang bentuk persamaan non-konservatif diperoleh apabila volume kontrol atau elemen infinit tersebut bergerak mengikuti aliran searah garis alir (*streamline*). Ilustrasi yang diberikan pada Gambar 2.7 menunjukkan keempat jenis pendekatan tersebut. Keempat bentuk persamaan tersebut dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk lainnya; pada dasarnya keempatnya merupakan satu jenis persamaan (Anderson J.D. Jr., 1995).



Gambar 2.7 Model aliran: (a) volume kontrol (*control volume*), (b) elemen kecil tak berhingga (*infinitesimal fluid element*)

(Anderson J.D. Jr., 1995)

Di atas disebutkan bahwa variabel kecepatan  $u$ ,  $v$ ,  $w$  adalah kecepatan sesaat (*instantaneous velocity*). Hal ini berarti bahwa persamaan Navier-Stokes tersebut menyatakan nilai kecepatan (dan nilai variabel hidraulik lainnya) pada saat tinjauan. Padahal, kita ketahui bahwa kecepatan aliran, utamanya pada aliran turbulen yang merupakan sebagian besar kasus yang terjadi pada aliran di saluran terbuka (*open channel flows*), berfluktuasi terhadap waktu. Menyelesaikan persamaan Navier-Stokes untuk memperoleh nilai kecepatan sesaat memerlukan usaha yang sangat mahal ditinjau dari sisi biaya hitungan. Sebaliknya, dalam banyak hal, yang dibutuhkan adalah cukup nilai rata-rata untuk waktu tertentu. Oleh karena itu, diperlukan persamaan kontinuitas dan momentum yang berlaku untuk nilai rata-rata (terhadap waktu: *time-averaged values*). Hubungan antara nilai sesaat dan nilai rata-rata, misalnya untuk kecepatan longitudinal, dinyatakan dengan persamaan berikut:

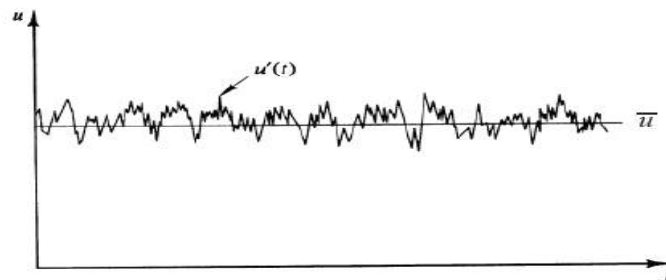
$$u = \bar{u} + u' \quad (2.8)$$

Keterangan :

$\bar{u}$  = komponen rata-rata

$u'$  = fluktuasi kecepatan

Cara pemisahan seperti persamaan 2.8, dikenal dengan cara Reynolds. Ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 menunjukkan sketsa grafis hubungan antara kecepatan sesaat, kecepatan rata-rata, dan fluktuasi kecepatan.



Gambar 2.8 Pemisahan kecepatan sesaat kedalam komponen kecepatan rata-rata dan fluktuasi kecepatan  
(Anderson J.D. Jr., 1995)

Dengan memakai definisi di atas untuk mengganti setiap nilai sesaat pada persamaan Navier-Stokes, dan dengan melalui beberapa manipulasi matematik, akan diperoleh persamaan kontinuitas dan persamaan momentum untuk nilai rata-rata seperti persamaan 2.9- 2.12, yang dikenal sebagai persamaan Reynolds (berlaku untuk aliran turbulen)

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}\bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}\bar{w}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{yx}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{zx}}{\partial z} + g_x \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{v}\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}\bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}\bar{w}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{xy}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{yy}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{zy}}{\partial z} + g_y \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{w}\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{w}\bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}\bar{w}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{xz}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{yz}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{zz}}{\partial z} + g_z \quad (2.12)$$

Tampak bahwa bentuk persamaan-persamaan tersebut di atas adalah sama dengan persamaan Navier-Stokes (Persamaan 2.4 – 2.7). Untuk menyederhanakan penulisan, tanda garis atas (*overbar*) pada variabel yang menunjukkan nilai rata-rata (terhadap waktu), untuk selanjutnya, tidak dicantumkan, kecuali apabila diperlukan untuk menghindari kerancuan.

Di dalam persamaan momentum, Persamaan 2.10 – 2.12, tegangan geser mencakup faktor kekentalan air dan faktor fluktuasi kecepatan, dan dinyatakan dalam persamaan berikut ini:

$$\tau_{ij} = \rho \nu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \quad (2.13)$$

misalnya untuk tegangan geser (dan tegangan normal) arah longitudinal,

$$\tau_{xx} = \rho \nu 2 \frac{\partial u}{\partial x} - \rho \overline{u' u'} \quad (2.14)$$

$$\tau_{yx} = \rho \nu \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \rho \overline{u' v'} \quad (2.15)$$

$$\tau_{zx} = \rho \nu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \rho \overline{u' w'} \quad (2.16)$$

Suku pertama di sebelah kanan menunjukkan tegangan yang diakibatkan oleh kekentalan (viskositas) air,  $\nu$ , sedang suku terakhir menunjukkan pengaruh fluktuasi kecepatan dan dikenal sebagai tegangan

Reynolds. Pada aliran turbulen, tegangan yang diakibatkan oleh pengaruh fluktuasi kecepatan (turbulensi) jauh lebih besar daripada tegangan akibat kekentalan air. Yang terakhir ini umumnya diabaikan, sehingga untuk  $\tau_{zx}$ , misalnya, praktis:  $\tau_{zx} = -\rho \overline{u'w'}$ . Tegangan Reynolds sering dinyatakan sebagai fungsi kecepatan, mengikuti pendekatan Boussinesq sebagai berikut:

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \rho v_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \quad (2.17)$$

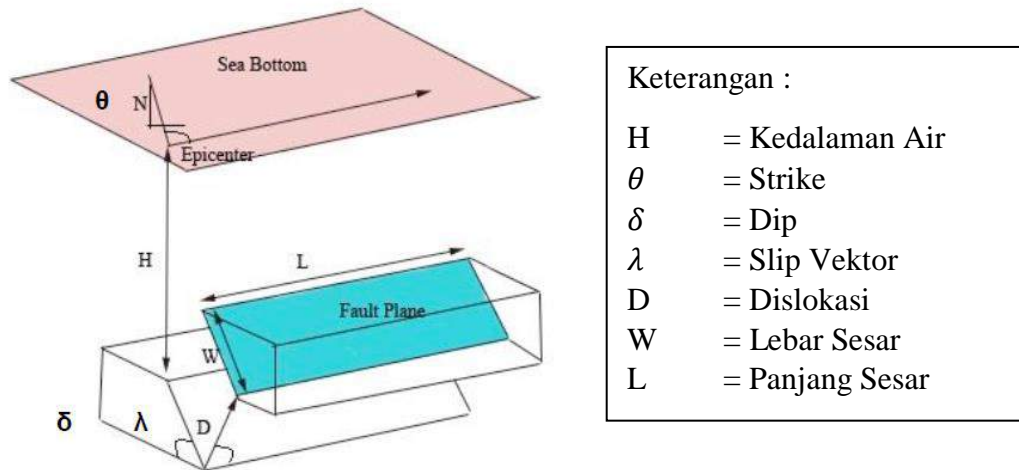
Variabel  $\delta_{ij}$  disebut *Kronecker delta*: bernilai 1 jika  $i = j$  dan bernilai 0 jika  $i \neq j$ ; variabel  $k$  adalah energi kinetik aliran turbulen (*turbulent kinetic energy*),  $k = \frac{1}{2} (\overline{u'u'} + \overline{v'v'} + \overline{w'w'})$ ; variabel  $v_t$  adalah viskositas turbulen (*turbulent eddy viscosity*). Viskositas turbulen ini tidak sama dengan kekentalan (viskositas) air,  $\nu$ . Viskositas air merupakan karakteristik air, sedang viskositas turbulen bergantung pada kecepatan aliran. Karena viskositas turbulen merupakan fungsi kecepatan aliran, yang merupakan variabel yang harus dihitung (*unknown*) dalam persamaan Reynolds, maka viskositas turbulen merupakan variabel yang juga harus dihitung. Umumnya, viskositas turbulen dihitung dengan suatu model; ini dikenal sebagai model turbulen (Versteeg, H. K., dan Malalasekera, W., 1995). Beberapa jenis model turbulen yang biasa dipakai, antara lain *Reynolds stress model*, *algebraic model*, dan yang sangat populer adalah *k- $\varepsilon$  model*.

#### 2.2.7. Deformasi Dasar Laut

Pemodelan sumber tsunami yang ditimbulkan oleh deformasi dasar laut akibat gempa, dapat dilakukan dengan masukan parameter gempa. Parameter gempa berupa patahan dalam hubungannya terhadap pembentukan tsunami terdiri dari: momen seismic ( $M_0$ ), lokasi dan kedalaman pusat gempa (episentrum dan hiposentrum), panjang patahan ( $L$ ), lebar patahan ( $w$ ), dislokasi strike ( $D$ ) dan geometri sebesar ( $Dip$ ,  $Strike$ ,  $Slip$ ).



Parameter Sesar (*fault*) yang berhubungan dengan deformasi bawah laut dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Desain parameter sesar

(Imamura *et al.* 2006)

#### 2.2.8. Mitigasi Bencana Tsunami

Mitigasi bencana tsunami didefinisikan sebagai upaya yang ditujukan untuk mengurangi dampak dari bencana tsunami baik berupa non struktural maupun struktural. Di struktural dibagi lagi menjadi *soft engineering* dan *hard engineering* (Kongko W. dan Schlurmann T. 2010). Berikut ini adalah jenis – jenis mitigasi bencana tsunami

- Mitigasi struktural

Mitigasi struktural adalah upaya untuk mengurangi kerentanan (*vulnerability*) terhadap bencana dengan cara rekayasa teknis bangunan tahan bencana. Bangunan tahan bencana adalah bangunan dengan struktur yang direncanakan sedemikian rupa sehingga bangunan tersebut mampu bertahan atau mengalami kerusakan yang tidak membahayakan apabila bencana yang bersangkutan terjadi. Rekayasa teknis adalah prosedur perancangan struktur bangunan yang telah memperhitungkan karakteristik aksi dari bencana. Mitigasi struktural merupakan upaya untuk meminimalkan bencana yang dilakukan melalui pembangunan berbagai prasarana fisik dan menggunakan

pendekatan teknologi, seperti *sea wall*, vegetasi pantai, bukit buatan, tempat perlindungan (*shelter*), dan *retrofitting* (pengutan konstruksi bangunan).

- Mitigasi Non-struktural

Mitigasi non –struktural adalah upaya mengurangi dampak bencana selain dari upaya tersebut diatas, bisa dalam lingkup upaya pembuatan kebijakan seperti pembuatan suatu peraturan. Undang-Undang Penanggulangan Bencana (UU PB) adalah upaya non-struktural di bidang kebijakan dari mitigasi ini. Contoh lainnya adalah pembuatan tata ruang kota, *capacity building* masyarakat, penyadaran masyarakat (Pendidikan, pelatihan,) , Relokasi, dan penerapan pengolahan wilayah pesisir terpadu (*Integrated Coastal Zone Management/ ICZM*)

#### 2.2.9. Software Flow 3D

FLOW-3D adalah perangkat lunak yang umum digunakan untuk pada bidang dinamika fluida komputasi. Perangkat lunak ini secara khusus menggunakan teknik numeric untuk mengerjakan persamaan aliran fluida untuk mendapatkan jawaban dalam bentuk tiga dimensi atas masalah aliran multi skala. Sebuah susunan dengan pilihan – pilihan numerik dan fisik memungkinkan untuk menggunakan software FLOW-3D pada berbagai macam aliran fluida, termasuk fenomena perpindahan panas. Flow 3D sangat membantu dalam scenario tersebut, dengan menggunakan algoritme TruVOF untuk analisis permukaan bebas dan skenario FAVOR<sup>TM</sup> untuk batas. FAVOR<sup>TM</sup> adalah Metode Representasi Hambatan Fraksional Area/Volume digunakan untuk memodelkan daerah geometris yang kompleks. TruVOF adalah formulasi yang dikembangkan oleh Flow 3D yang memodifikasi VOF (volume of fluid) asli menjadi lebih meningkatkan akurasi dari *boundary conditions*.

Flow 3D dapat digunakan pemodelan *automotive*, *aerospace*, *energy*, *coating*, *biotechnology*, *coastal & maritime*, *metal casting*, *water & environmental*, *microfluidics*, dan pemodelan *additive manufacturing*.

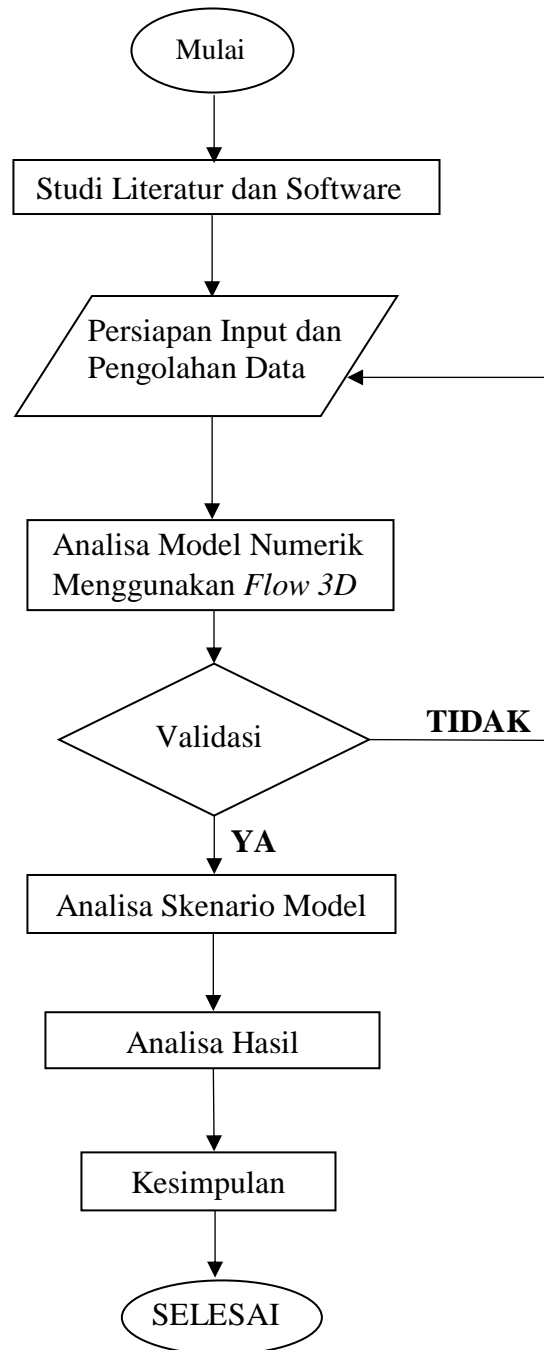
Untuk pemodelan *coastal & maritime*, meliputi *breakwater structures*, *offshores structures*, *ship hydrodynamics*, *sloshing & slamming*, dan Tsunami. Selain itu Flow 3D juga bisa mengeluarkan output berupa grafik, 2D maupun 3D.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir alur pengerjaan tugas akhir ini untuk menjelaskan alur yang dilakukan dalam proses penelitian ini, adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.1** Diagram alir metodologi penelitian

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Penjelasan berikut digunakan untuk memberikan detail yang menunjukkan proses penelitian yang dilakukan. Berikut penjelasan dari diagram alir :

#### 1. Studi Literatur dan Pengenalan *Software*

Pada tahap ini, studi literatur didapat dari jurnal, buku, paper, maupun penelitian sebelumnya yang menjelaskan tentang *run up* tsunami. Untuk pengenalan *software* dilakukan dengan mempelajari tutorial di menu *Help* pada *Software* Flow 3D.

#### 2. Persiapan Input dan Pengolahan Data

Data-data yang dibutuhkan dalam tahap persiapan input, berupa data batimetri dasar laut, elevasi dan topografi garis pantai, dan arah tsunami. Data-data yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari GEBCO untuk data batimetri, kemudian untuk data topografi didapatkan dari hasil pengukuran total station. Selanjutnya data tersebut diolah dengan bantuan *software* Global Mapper. Data tsunami dan data-data lain yang digunakan sebagai penunjang didapatkan dari penelitian BPPT Yogyakarta. Setelah pengolahan data, kemudian hasilnya disesuaikan dengan format data input yang ditetapkan oleh *software* Flow 3D.

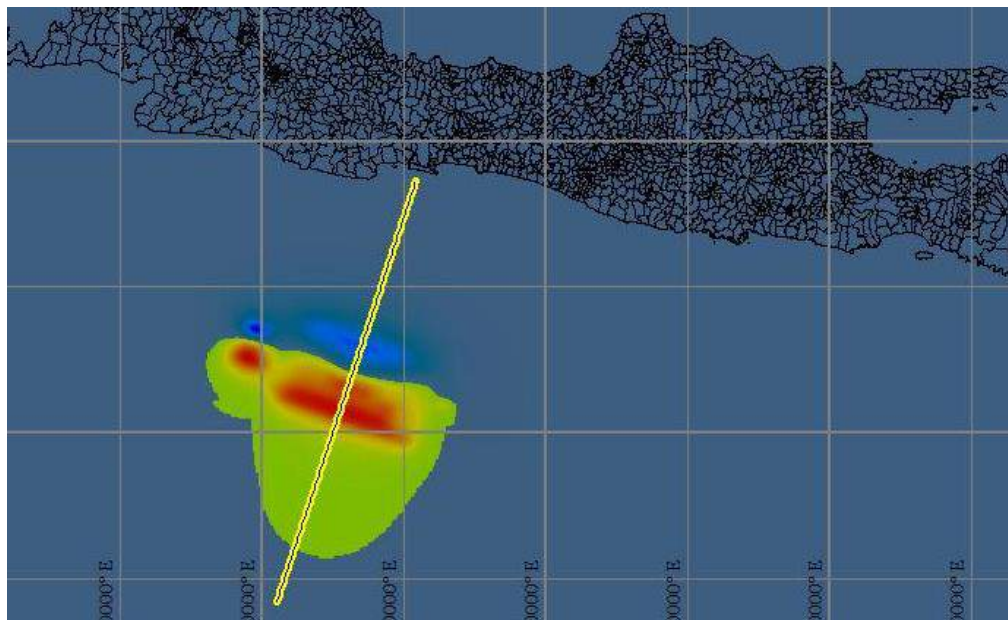
#### 3. Analisa Numerik Pada *Software*

Pada tahap ini, data input yang telah disesuaikan dengan format Flow 3D, diinputkan dengan menyesuaikan variable yang ditetapkan. Kemudian dilakukan pemodelan untuk mengetahui karakteristik tsunami, besar tsunami yang terjadi dan kecepatan rambatan tsunami yang terjadi di Bandara NYIA. *Software* Flow 3D adalah alat pemodelan yang memberi wawasan tentang proses aliran fisik. Flow 3D memiliki kemampuan untuk memperkirakan arus permukaan bebas secara akurat, karena *software* Flow 3D berbasis *computational fluid dynamics* atau CFD. Pada analisa numerik, pertama menentukan daerah mana yang akan menjadi batasan dalam penelitian. Kemudian melakukan *input* data meliputi elevasi gelombang, kekuatan gelombang (fluks) arah x, kekuatan gelombang (fluks) arah y, dan model yang akan dianalisa. Diperlukan penyesuaian untuk besaran turbulen, berapa besaran

*chezy*, berapa kekasaran *manning* sehingga bisa dilakukan proses *running* pada *software*.

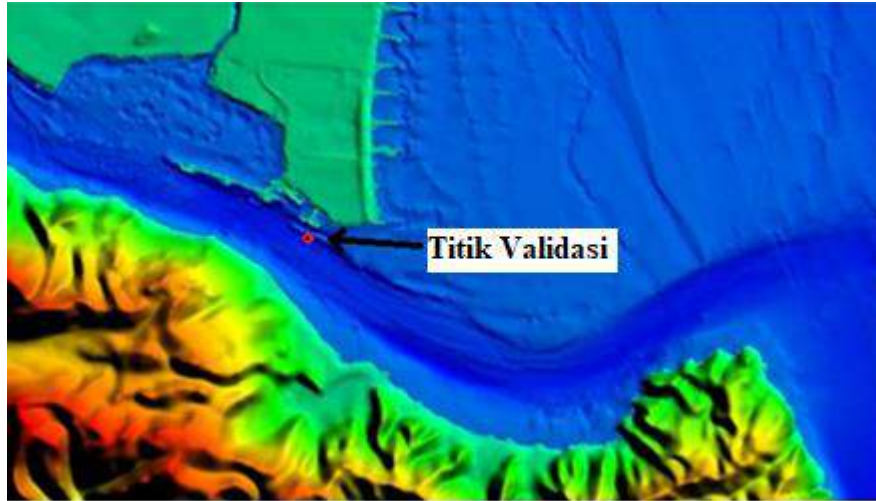
#### 4. Validasi

Dalam tahap validasi, dilakukan perbandingan hasil model dari *software* Flow 3D dengan data pengukuran lapangan. tepatnya data di daerah cilacap yang merupakan daerah paling baru terjadinya tsunami (Gambar 3.1). Validasi data dan model dilakukan dengan membandingkan data hasil observasi tsunami 2006 yang didapatkan dari laboratorium BPPT Yogyakarta.



**Gambar 3.1** Sumber gempa dari patahan menuju selatan pulau jawa  
(BPPT Yogyakarta)

Data validasi berupa data pengukuran pasang surut (Gambar 3.2) dan peninjauan lapangan pasca tsunami. Dari hasil validasi akan diketahui seberapa andal *software* Flow 3D untuk memodelkan tsunami beserta perhitungan *run up* tsunami. Jika hasil perbandingan yang didapatkan terlalu besar, maka harus dilakukan pemodelan ulang hingga mendapatkan hasil kurang dari 30% *error*.



**Gambar 3.2** Titik validasi di daerah Cilacap  
(BPPT Yogyakarta)

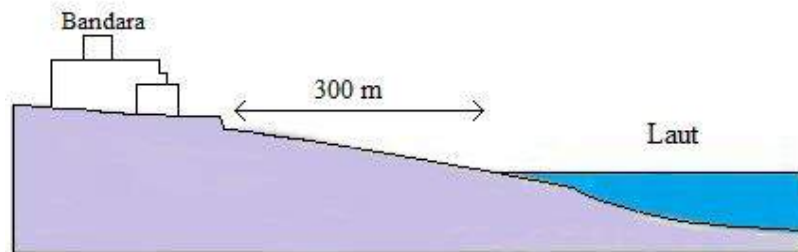
#### 5. Analisa Skenario Model

Setelah dilakukan validasi model, langkah selanjutnya adalah melakukan skenario model. Skenario dilakukan di 3 kondisi tsunami yang berbeda, yaitu : skenario model kondisi eksisting (skenario sebelum dibangun bandara), skenario model bandara (skenario setelah dibangun bandara tanpa mitigasi), dan skenario model bandara dan mitigasi (skenario model tsunami setelah dibangun bandara dengan mitigasi) yang berupa *sand dunes* dan polder (gambar 3.3-3.5). Selanjutnya akan didapatkan juga perbandingan waktu datang tsunami saat terdapat *sand dunes-polder*, dan saat tanpa *sand dunes-polder*. Sehingga bisa melihat keefektifan *sand dunes-polder* dalam bencana tsunami.

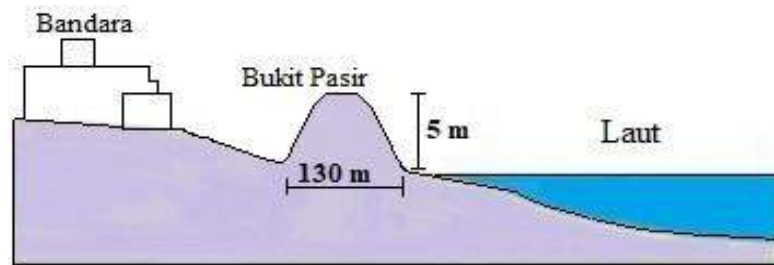
Mitigasi yang adalah variasi sand dunes dengan tinggi yang berbeda-beda (Gambar 3.5a - 3.5c). Parameter yang digunakan dalam observasi sand dunes adalah penurunan tinggi gelombang akibat *sand dunes* dan waktu penurunan elevasi muka air. Maksud dari waktu penurunan elevasi muka air adalah jangka waktu yang dibutuhkan *sand dunes* untuk menahan serta menurunkan elevasi gelombang *run up* akibat tsunami.



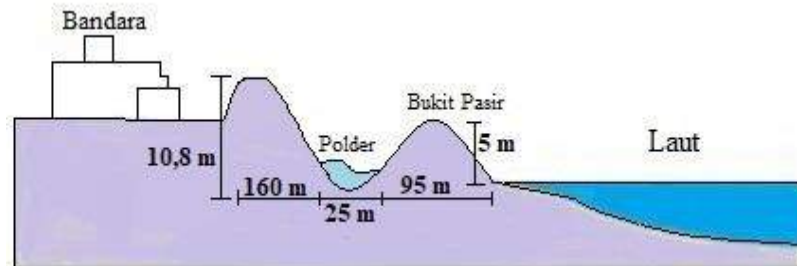
**Gambar 3.3** Skenario pemodelan eksisting (2D)



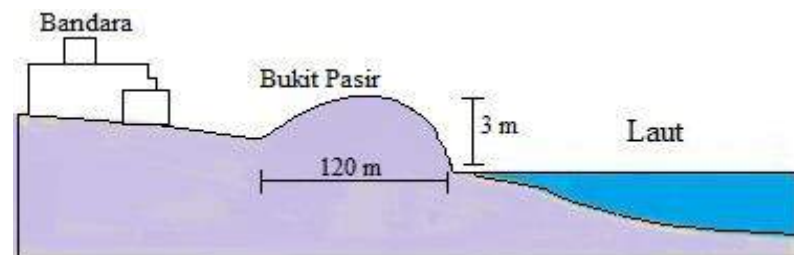
**Gambar 3.4** Skenario pemodelan bandara (2D)



**Gambar 3.5 (a)** Skenario pemodelan bandara dan mitigasi (2D) variasi 1



**Gambar 3.5 (b)** Skenario pemodelan bandara dan mitigasi (2D) variasi 2

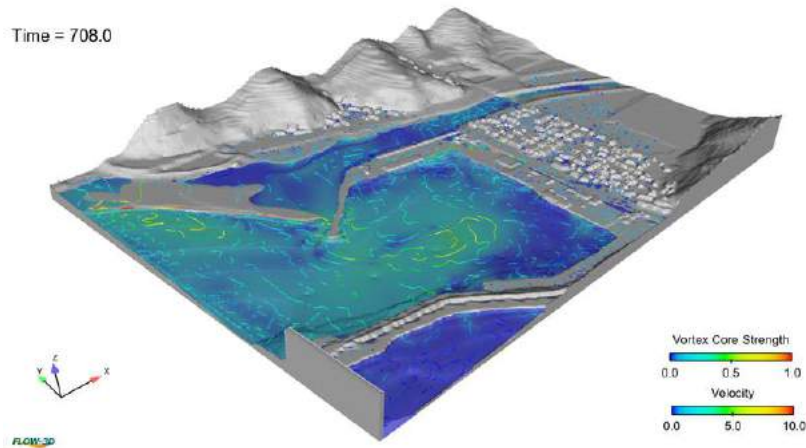


**Gambar 3.5 (c)** Skenario pemodelan bandara dan mitigasi (2D) variasi 3



## 6. Analisa Hasil

Analisa hasil sangat diperlukan untuk mengetahui berapa ketinggian gelombang tsunami, waktu inundasi, dan efisiensi *sand dunes*. Hasil perhitungan yang didapatkan berupa grafik dan model tsunami 3D, seperti pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6** Hasil simulasi pembentukan inti pusaran air dalam simulasi tsunami, divisualisasikan dengan FlowSight, lokasi di Pelabuhan Imwon di Korea selama tsunami.

(<https://www.flow3d.com/industries/water-environmental/tsunamis/>)

## 7. Kesimpulan

Langkah terakhir adalah penulisan kesimpulan dan saran berdasarkan eksperimen dan analisa yang telah dilakukan sebelumnya. Penarikan kesimpulan ini mengacu kepada analisa hasil simulasi permodelan. Mulai dari penelitian dilakukan hingga selesai, secara menyeluruh. Sehingga hasil kesimpulan yang didapat bisa dijadikan pertimbangan untuk penelitian ke depan.

## BAB IV

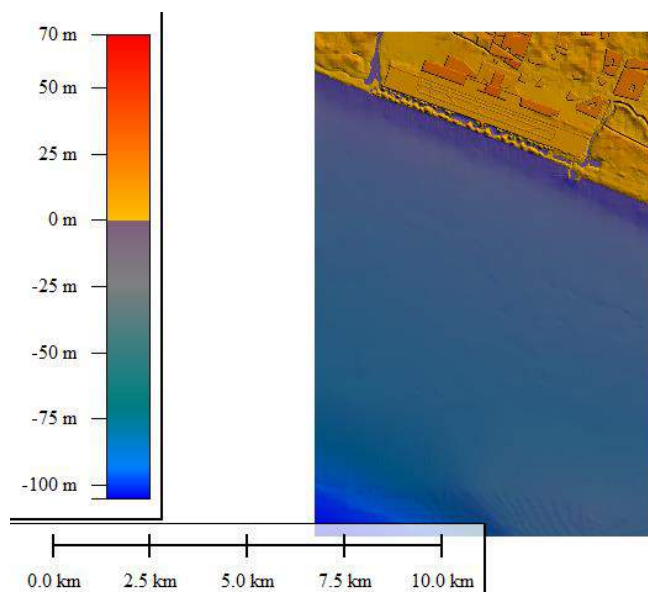
### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan untuk input dalam penelitian ini berupa pemodelan maupun perhitungan. Data yang digunakan antara lain, data batimetri, topografi dan data tsunami yang berupa data kecepatan dan data elevasi gelombang.

##### 4.1.1 Data Batimetri dan Topografi

Data batimetri yang digunakan adalah data pada daerah selatan pulau jawa karena pada daerah tersebut memiliki potensi tsunami yang cukup tinggi. Hal tersebut dibuktikan dengan pernah terjadinya tsunami Pangandaran tahun 2006 dengan kekuatan 6,6 Mw. Data batimetri didapatkan dari GEBCO. Data ini bersifat *open source*, yang artinya bisa digunakan untuk siapapun, dimanapun dan kapanpun. File GEBCO memiliki format ascii, kemudian dikonversi menjadi format koordinat xyz dengan menggunakan Global Mapper (Gambar 4.1).



**Gambar 4.1** Hasil pengolahan data batimetri dan topografi pada skenario pemodelan bandara dan mitigasi dengan menggunakan Global Mapper

Data topografi berasal dari pengukuran secara langsung dengan menggunakan alat total station. Dari data pengukuran tersebut, diolah lagi menggunakan Global Mapper untuk digabungkan dengan data batimetri, sehingga menghasilkan peta yang lengkap. Data tersebut kemudian dikonversi lagi menjadi format stl, sehingga dapat dibuka di *software* Flow 3D.

#### 4.1.2 Data Tsunami

Data tsunami didapatkan dari BPPT Yogyakarta. Data tersebut berasal dari hasil penelitian BPPT Yogyakarta yang berfungsi sebagai pembangkit tsunami. Pada penelitian ini titik gempa terjadi pada korrdinat 11° 44' 10" S – 109° 31' 51" E (gambar 4.2). Hasil dari pengolahan TUNAMI tersebut adalah data elevasi (Z), fluks M (fluks arah x) fluks N (fluks arah y). Fluks M dan Fluks N harus dikonversi menjadi kecepatan arah x dan kecepatan arah y terlebih dahulu, untuk bisa diproses di Flow 3D. Berikut adalah persamaan untuk mendapatkan data kecepatan.

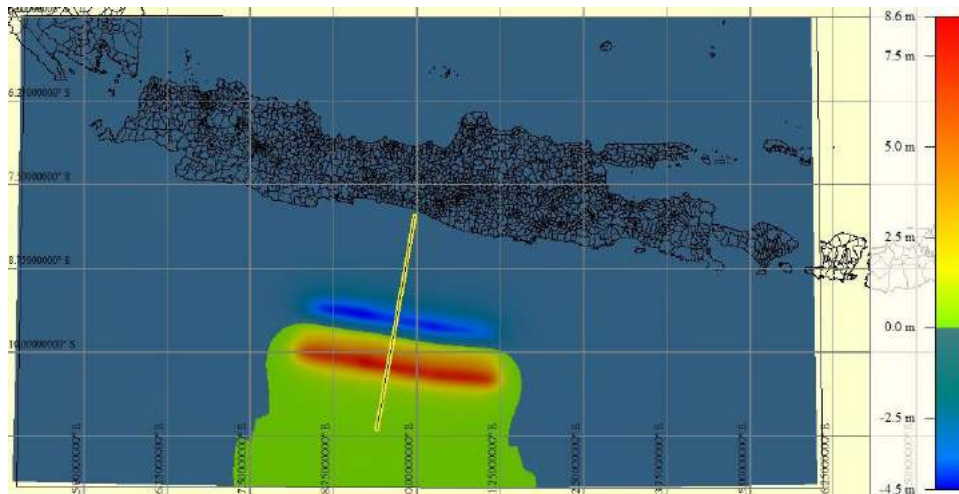
$$\frac{Px,y}{d} = v$$

Keterangan :

$Px,y$  = Flux m, Flux y

$d$  = Kedalaman

$v$  = Kecepatan



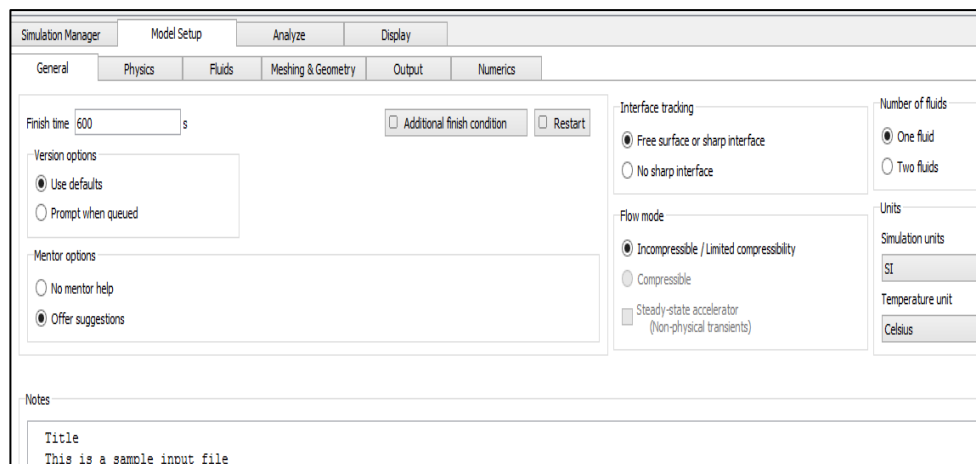
**Gambar 4.2** Titik pusat gempa pembangkitan tsunami

## 4.2 Pemodelan Menggunakan Flow 3D

Hal pertama yang dilakukan dalam pemodelan di Flow 3D adalah membuat workspace dan simulasi pada menu *Simulation Manager*. Setelah dibuat lembar kerja dan simulasi, langkah selanjutnya adalah *setting input* model, pemodelan, running data, sehingga didapatkan berupa hasil 3 dimensi dan grafik elevasi gelombang terhadap waktu. Berikut adalah penjelasan mengenai langkah-langkah Flow 3D.

### 4.2.1 *Setting Input Model*

*Setting input* model terletak pada menu *model setup*, langkah pertama yang dilakukan adalah memasukkan lama waktu pemodelan dan satuan yang digunakan. Dalam penelitian ini lama waktu pemodelan yang digunakan adalah 5400 detik. Selanjutnya memasukkan parameter-parameter yang akan digunakan pada menu *physics*, yaitu *shallow water*, *viscosity and turbulence*, dan gravitasi. Setelah semua dimasukkan, langkah selanjutnya memasukkan massa jenis air laut pada menu *fluids*. Selain data *input* lama waktu pemodelan, semua parameter menggunakan default dari Flow 3D.

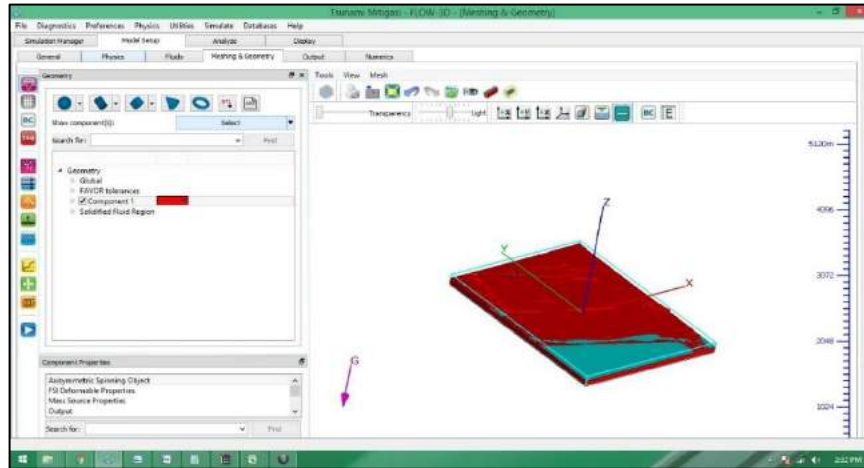


**Gambar 4.3** *Setting input* model Flow 3D

### 4.2.2 Pemodelan

Pemodelan pada Flow 3D terletak di menu *meshing & geometry*. Tetapi sebelum itu, perlu dilakukan konversi file xyz hasil dari Global Mapper dengan aplikasi bawaan Flow 3D yang bernama Topo2STL agar

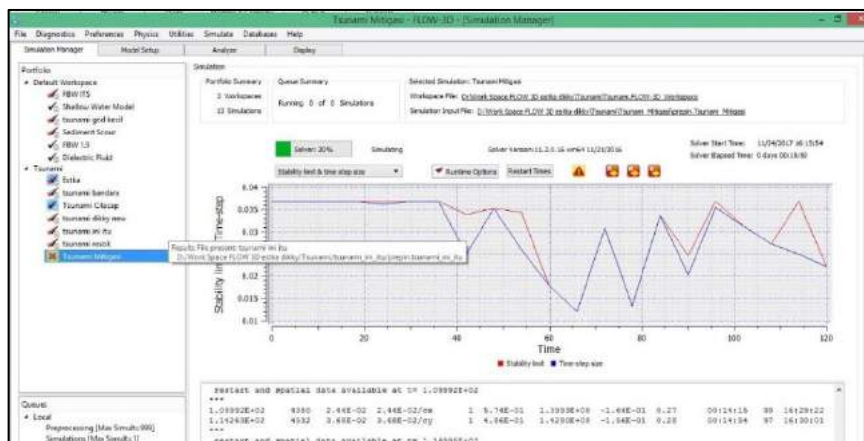
mendapatkan file berformat stl. Setelah didapat file stl, buka file tersebut di Flow 3D untuk dimasukkan parameter seperti *meshing*, *boundaries condition*, *initial condition* dan *probe*.



**Gambar 4.4** Tampilan skenario pemodelan bandara dan mitigasi

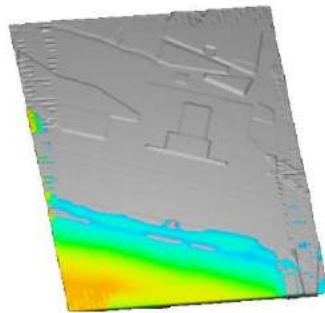
#### 4.2.3 Running Data

Setelah semua input dimasukkan dan model telah dibuat, langkah selanjutnya adalah melakukan *running* di menu *simulate – preprocess simulation*. Sebelum di-*running*, dilakukan pengecekan terlebih dahulu untuk mengetahui apakah data *input* yang dimasukkan sudah benar atau belum. Jika ada yang salah, maka akan muncul tanda error pada tampilan flow 3D seperti gambar 4.5. Jika sudah benar, maka akan muncul tanda centang pada simulasi. Setelah *Preprocess Simulation* selesai, pilih menu *Simulate – Run Simulation* untuk me-*running* simulasi.



**Gambar 4.5** Proses *running* pada Flow 3D

Setelah proses running selesai, hasil dapat dilihat pada menu *analyze* dengan format *flsgrf*. Pada menu *analyze* pilih menu *probe*, 2-D dan 3-D. Pada menu 2-D, dapat diatur sudut pandangnya mulai dari X-Y, Y-Z, dan X-Z. Pada menu *probe* pilih *Data source - General history* untuk memilih titik mana saja yang ingin ditampilkan hasilnya. Kemudian pilih menu *Output form - Text* untuk menampilkan hasilnya dalam bentuk angka. Pada menu 3-D, hasil dapat dilihat pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Hasil running 3 dimensi Flow 3D

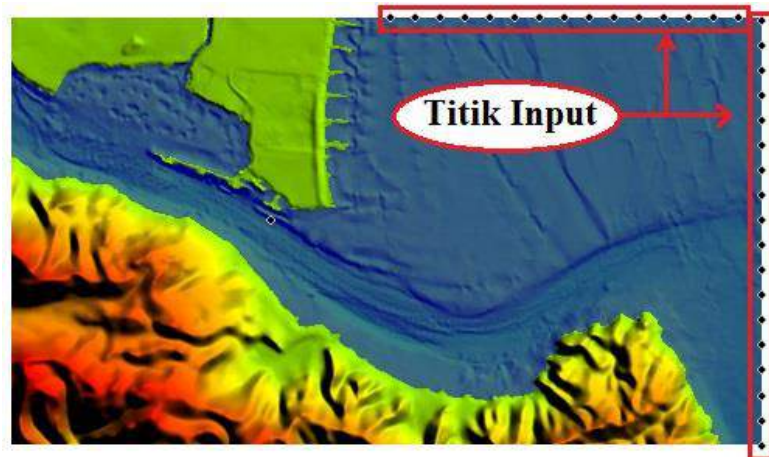
#### 4.3 Validasi Model

Setelah hasil *running* didapatkan, untuk mengecek valid tidaknya model tsunami tersebut. Model tsunami tersebut akan dibandingkan dengan kejadian tsunami Cilacap tahun 2006 dengan besar 6,6 Mw yang diasumsikan berdampak pada Kabupaten Kulon Progo. Data tsunami tersebut adalah hasil pengukuran oleh BPPT Yogyakarta di sekitar sungai Segara Anakan yang berbatasan dengan laut. Titik validasi tersebut terletak pada koordinat,  $7^{\circ} 45' 11''$  S,  $129^{\circ} 00' 58''$  E bisa dilihat pada Gambar 4.7.



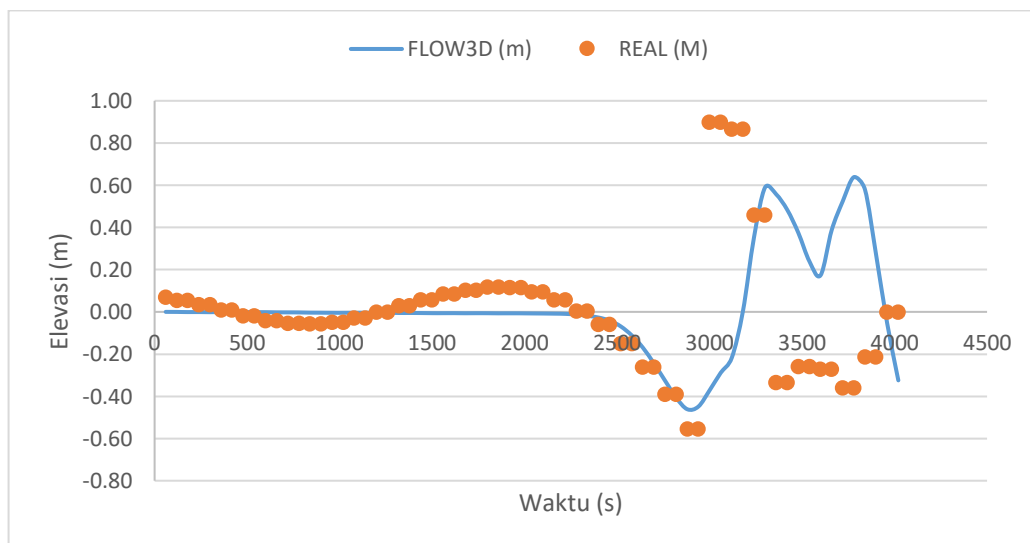
**Gambar 4.7** Lokasi titik validasi

Hasil perhitungan dari *software* TUNAMI digunakan sebagai data *input* Flow 3D, sehingga mendapatkan 33 titik input. 33 titik tersebut tersebar di sebelah kanan gambar sebanyak 18 titik dan diatas gambar sebanyak 15 titik, seperti pada Gambar 4.8. Hasil validasi dapat dilihat pada Lampiran A.



**Gambar 4.8** Titik input validasi

Untuk mempermudah hasil pengamatan pada Lampiran A, dibuat grafik seperti pada Gambar 4.9. Dari grafik tersebut, dapat dilihat perbandingan antara hasil pengukuran di lapangan dengan hasil pemodelan. Dari data tersebut, juga dapat dihitung nilai persen *error* dari data pemodelan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.



**Gambar 4.9** Perbandingan hasil simulasi Flow 3D dengan data pengukuran

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\overline{X_{obs}}}$$

Keterangan :

RMSE = Root Square Mean Error

NRMSE = Normalized Root Square Mean Error

Xobs = Data *real* di lapangan atau data pengukuran

Xmodel = Hasil dari perhitungan atau pemodelan dengan software

n = Banyaknya data

Dari perhitungan tersebut, didapatkan sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil perhitungan RMSE, NRMSE, dan persen error

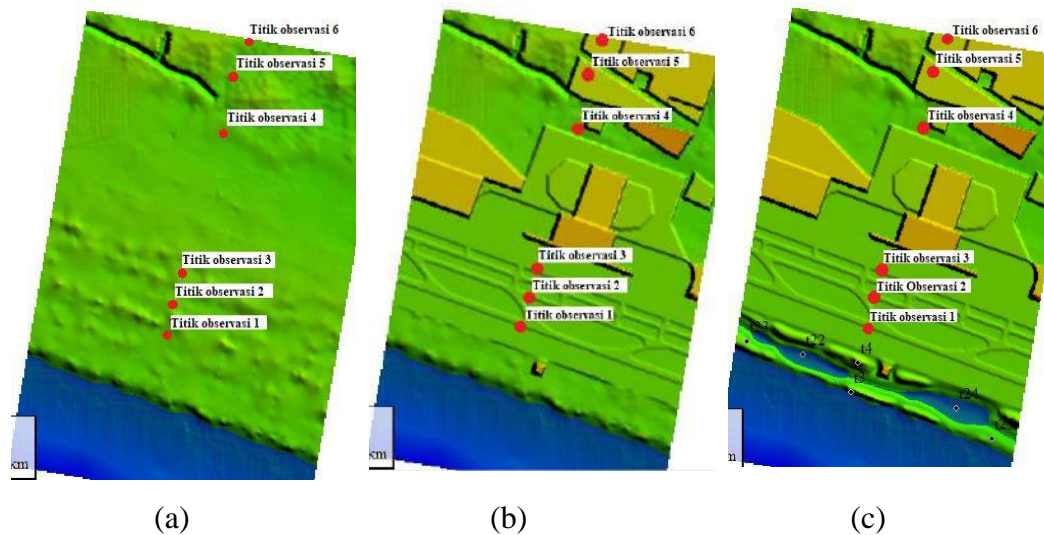
RMSE	0,39
NRMSE	0,28
%error	27,47

Nilai persen error didapatkan dengan cara mengalikan NRMSE dengan 100, sehingga didapat 27,47 persen. Dari hasil tersebut membuktikan bahwa Flow 3D bisa digunakan untuk memodelkan tsunami dengan persen error dibawah 30% setelah melakukan 5 kali *running*.

#### 4.4 Pemodelan Hipotetik

Pemodelan hipotetik pada penelitian ini adalah tsunami dengan sumber gempa yang berkekuatan 8,5 Mw melanda bandara Kulon Progo. Pemodelan hipotetik ini dilakukan untuk memprediksi bencana tsunami yang kemungkinan akan terjadi di selatan Pulau Jawa. Data tsunami pada pemodelan hipotetik ini diperoleh dari BPPT Yogyakarta dan bisa dilihat di lampiran B.





**Gambar 4.10** Titik observasi; (a) titik observasi skenario pemodelan eksisting, (b) titik observasi skenario pemodelan bandara, (c) titik observasi skenario pemodelan bandara dan mitigasi

Dari Gambar 4.10 bisa dilihat ada 6 titik observasi (dari bawah ke atas, titik observasi 1, titik observasi 2, titik observasi 3, titik observasi 4, titik observasi 5, titik observasi 6) untuk mengamati data tsunami yang berupa tinggi *run up*, luas genangan akibat *run up* dan waktu inundasi. Titik-titik tersebut memiliki ketinggian topografi yang berbeda-beda, baik dari skenario pemodelan eksisting, skenario pemodelan bandara dan skenario pemodelan bandara-mitigasi yang bisa dilihat di tabel 4.2

Tabel 4.2 Ketinggian topografi tiap titik observasi

Titik	Ketinggian topografi skenario eksisting (m)	Ketinggian topografi skenario bandara (m)	Ketinggian topografi skenario bandara dan mitigasi (m)
1	6,3	7	7
2	7,7	7,9	7,9
3	8,48	8	8
4	6,1	6,13	6,13
5	6	17	17
6	6,85	18	18

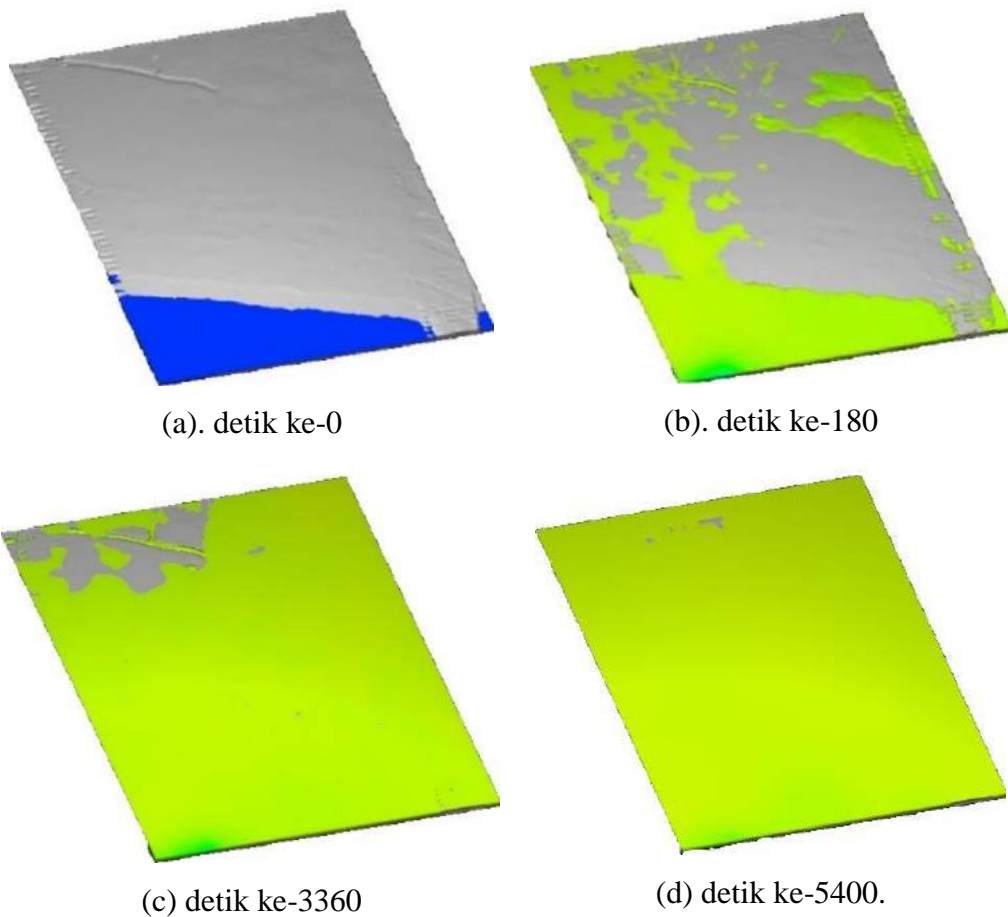
Setelah itu, ketiga skenario tersebut di-*running* sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut.

#### 4.4.1 Luas area genangan

Luas area genangan bisa dilihat dengan cara mengukur hasil dari pemodelan 3 dimensi. Berikut ini adalah hasil pemodelan untuk skenario model eksisting, skenario model bandara dan skenario model bandara dan mitigasi.

##### a. Skenario pemodelan eksisting

Skenario pemodelan eksisting adalah skenario pemodelan saat tidak ada bangunan apa-apa. *Output* dari Flow 3D didapatkan bentuk 3 dimensi seperti pada gambar berikut :

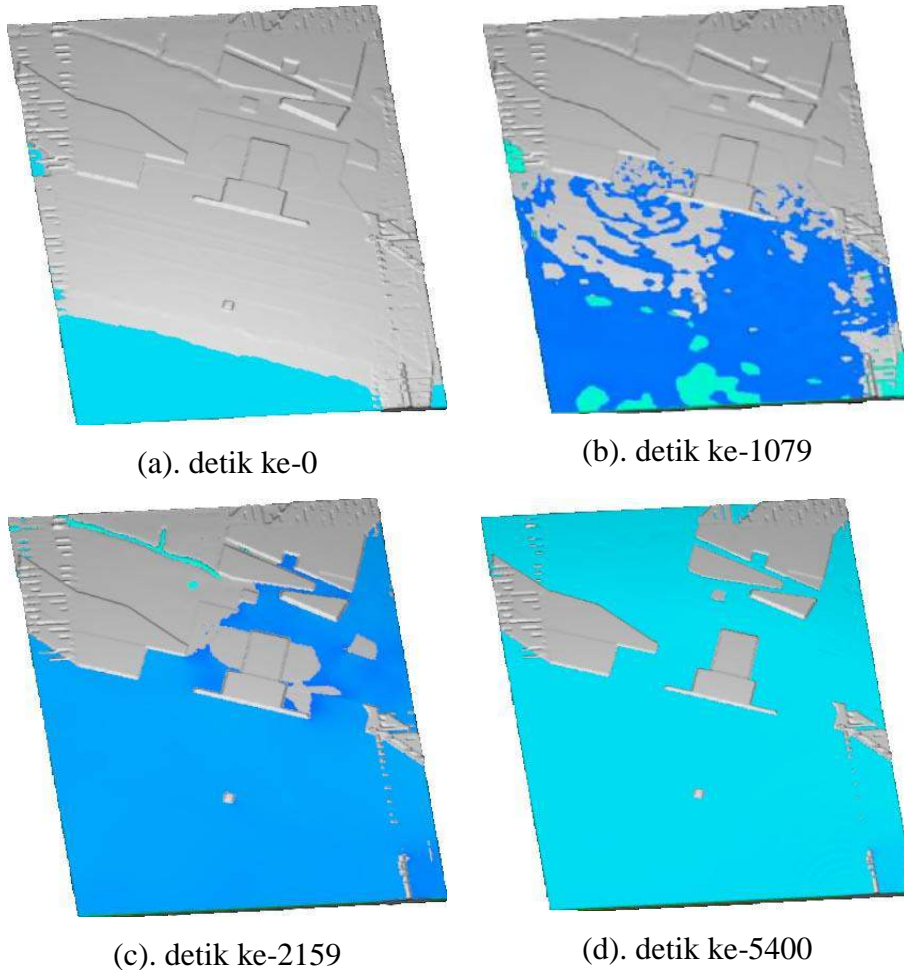


**Gambar 4.11** Hasil 3D pada skenario pemodelan eksisting

Dari Gambar 4.11, dapat diketahui bahwa air mulai menggenang pada detik ke 120 atau 2 menit dengan luas genangannya adalah 5,2 km<sup>2</sup>.

b. Skenario pemodelan bandara

Pada skenario pemodelan bandara adalah skenario pemodelan saat terdapat bangunan bandara. *Output* dari Flow 3D didapatkan bentuk 3 dimensi seperti pada gambar berikut :

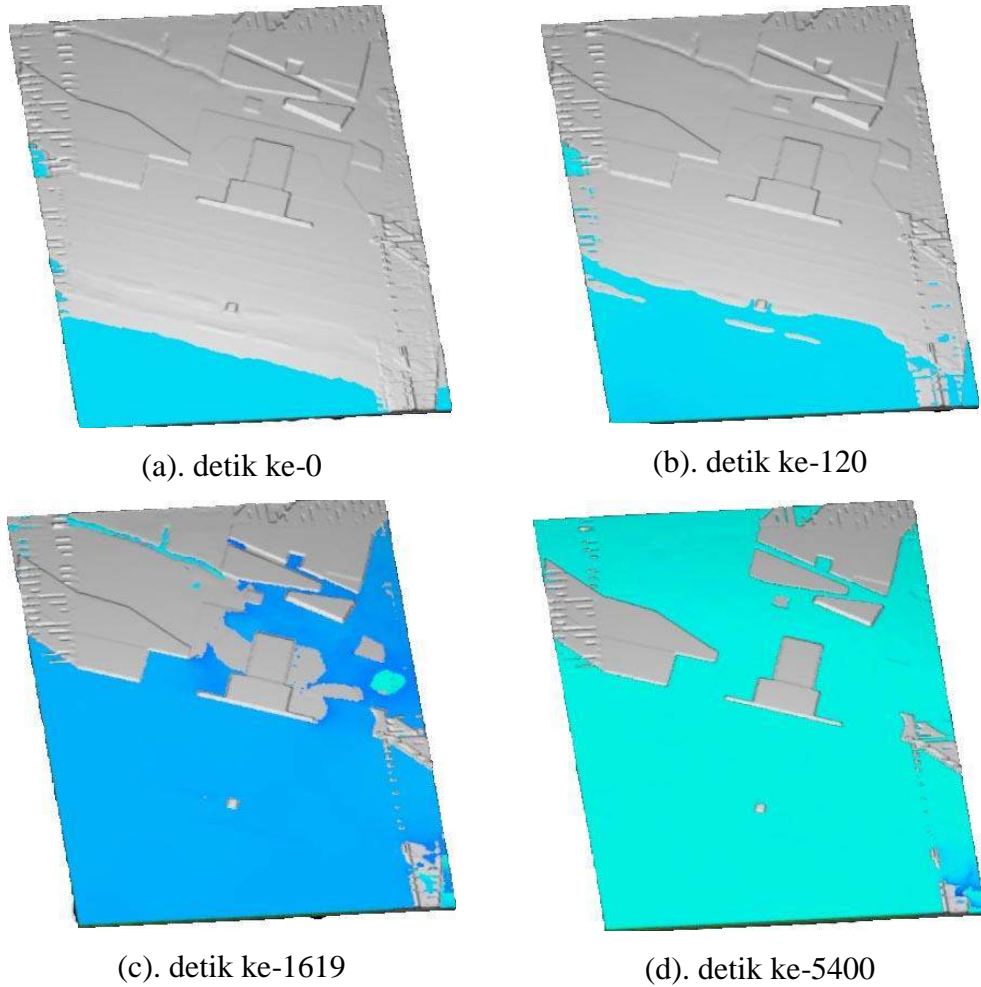


**Gambar 4.12** Hasil 3D pada skenario pemodelan bandara.

Dari Gambar 4.12, pada detik ke-1079 air menggenang sampai ke daerah bandara dan pada detik ke-5400 tergenang seluruh pemodelan bandaranya. Luas genangan dari skenario pemodelan bandara adalah 5,2 km<sup>2</sup>.

c. Skenario pemodelan bandara dan mitigasi

Pada skenario pemodelan bandara dan mitigasi adalah skenario pemodelan saat terdapat bangunan bandara dan mitigasinya yang berupa *sand dunes* dan polder. *Output* dari Flow 3D didapatkan bentuk 3 dimensi seperti pada gambar berikut:



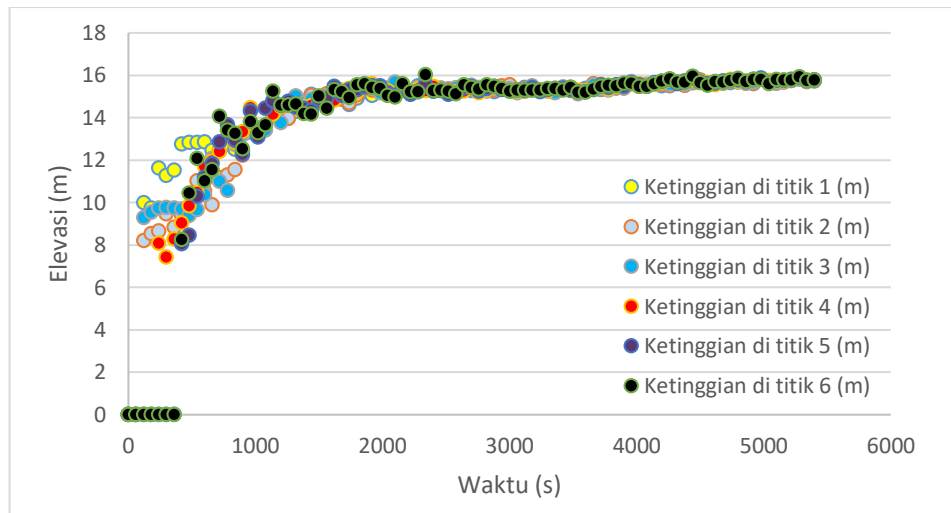
**Gambar 4.13** Hasil 3D pada skenario pemodelan bandara dan mitigasi.

Pada Gambar 4.13, dapat diketahui bahwa hampir seluruh bandara tergenang air akibat tsunami dan disimpulkan bahwa luas genangan pada skenario pemodelan bandara dan mitigasi adalah  $5,2 \text{ km}^2$ .

#### 4.4.2 Tinggi gelombang dan waktu inundasi

Tinggi gelombang dan waktu inundasi dapat dilihat pada grafik hasil dari pemodelan di Flow 3D. Titik observasi 1 pada Gambar 4.10 ditinjau karena letak titik tersebut berada di *airway*. Peninjauan tersebut bertujuan untuk melihat seberapa cepat waktu inundasi sampai ke *airway*. Berikut adalah grafik hasil tinggi gelombang terhadap waktu inundasi pada skenario pemodelan eksisting, skenario pemodelan bandara, skenario pemodelan bandara dan mitigasi.

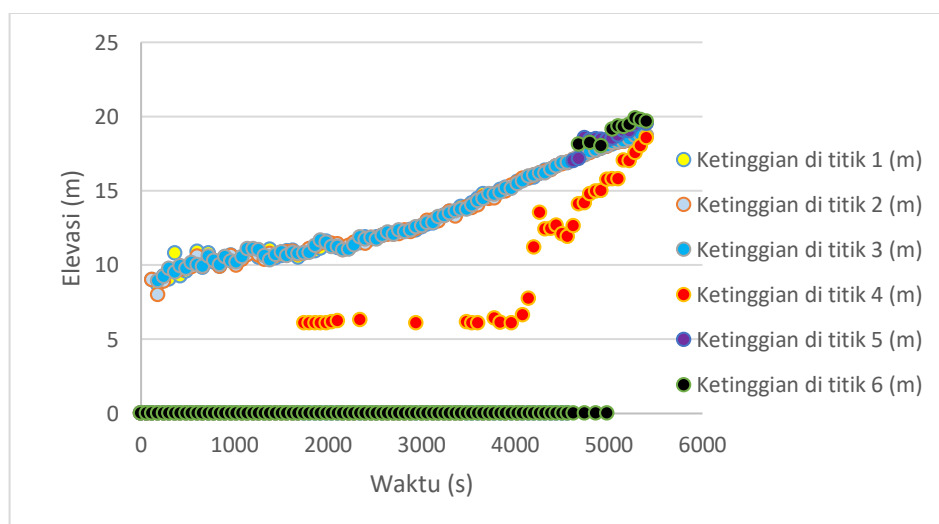
a. kondisi eksisting



**Gambar 4.14** Perbandingan waktu tiba terhadap tinggi gelombang tsunami pada skenario pemodelan eksisting

Dari Gambar 4.14, tinggi maksimum berada di titik 6, yaitu 16,02 m pada detik ke-2400. Waktu inundasi menunjukkan kenaikan pada detik ke-120 pada titik 1, yang berarti gelombang tsunami menghantam pantai saat detik ke-120 atau 2 menit.

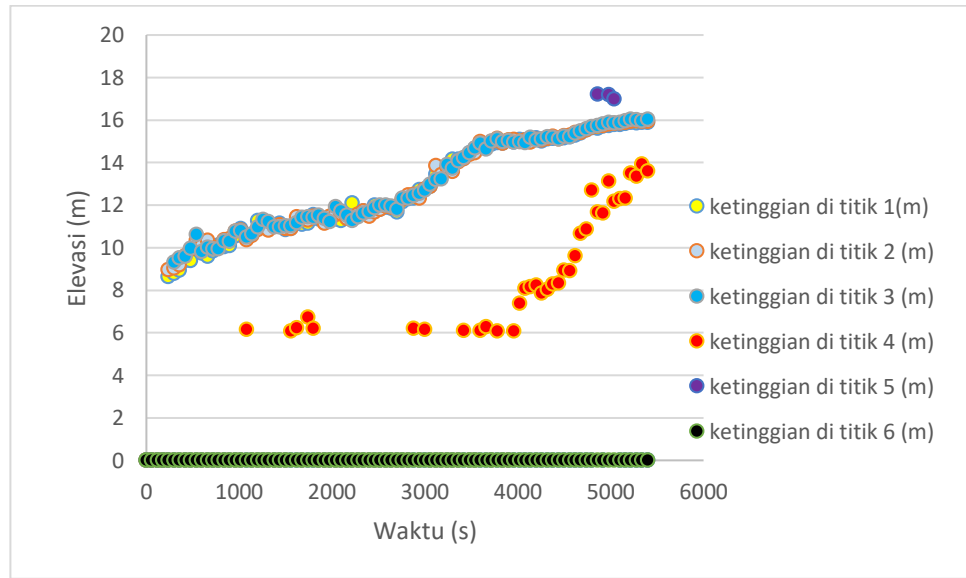
b. kondisi bandara



**Gambar 4.15** Perbandingan waktu tiba terhadap tinggi tsunami pada skenario pemodelan bandara

Dari Gambar 4.15, tinggi maksimum berada di titik 6, yaitu 19,88 m pada detik ke-5280. Waktu inundasi menunjukkan kenaikan pada detik ke-120 pada titik 1, yang berarti gelombang tsunami menghantam pantai saat detik ke-120 atau 2 menit.

c. kondisi bandara dan mitigasi



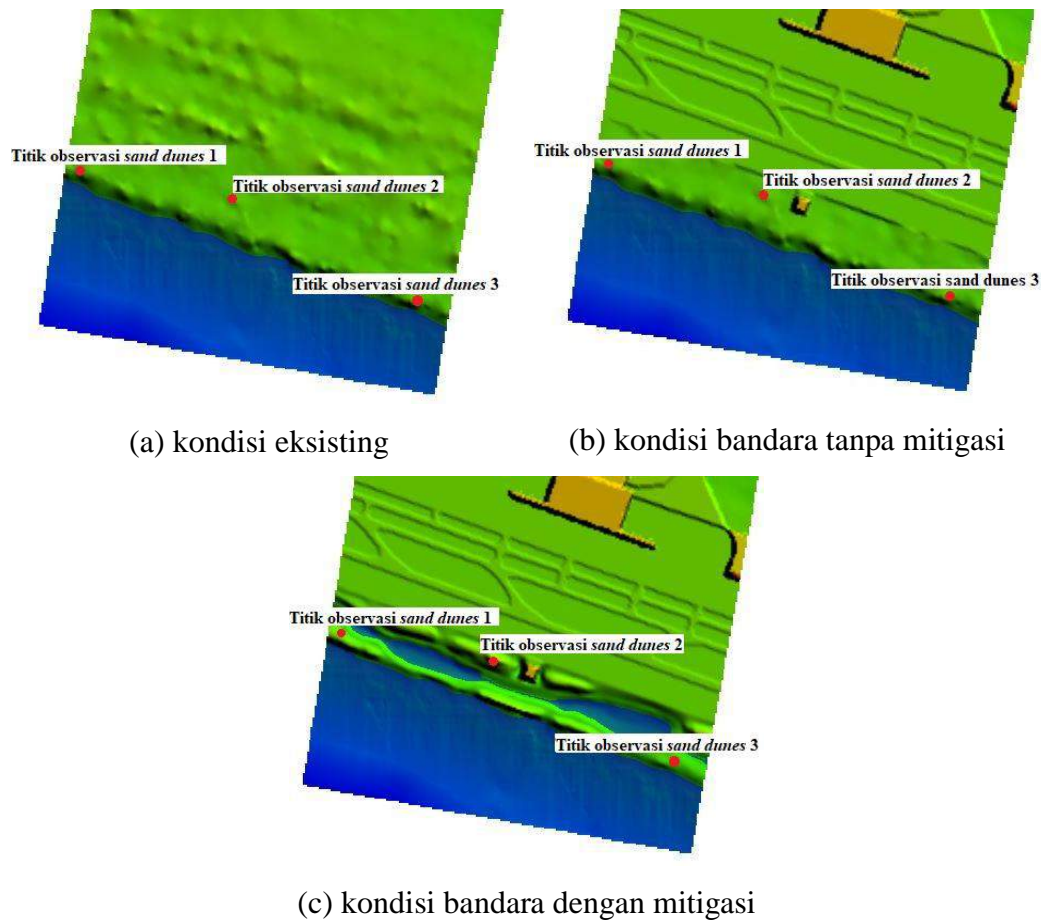
**Gambar 4.16** Perbandingan waktu tiba terhadap tinggi tsunami pada skenario pemodelan bandara dengan mitigasi

Dari Gambar 4.16, tinggi maksimum berada di titik 5, yaitu 17,22 m pada detik ke-4860. Waktu inundasi menunjukkan kenaikan pada detik ke-180 pada titik 1, yang berarti gelombang tsunami menghantam pantai saat detik ke-180 atau 3 menit.

#### 4.4.3 Mitigasi Tsunami

Pada penelitian ini terdapat tiga *sand dunes* yang digunakan sebagai mitigasi yang divariasikan berdasarkan ketinggian. Letak titik observasi ketiga *sand dunes* dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan ketinggian topografi masing-masing titik observasi dapat dilihat pada tabel 4.3, untuk sketsa tampak sampingnya bisa dilihat pada Gambar 3.5a-3.5c.



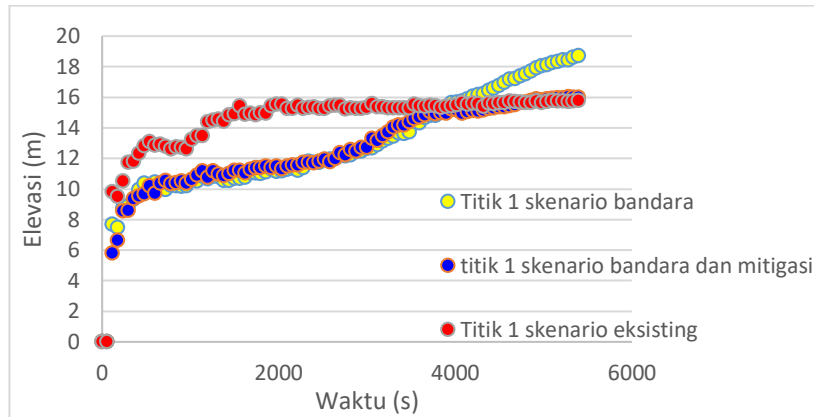


**Gambar 4.17** Tiga titik observasi *sand dunes*

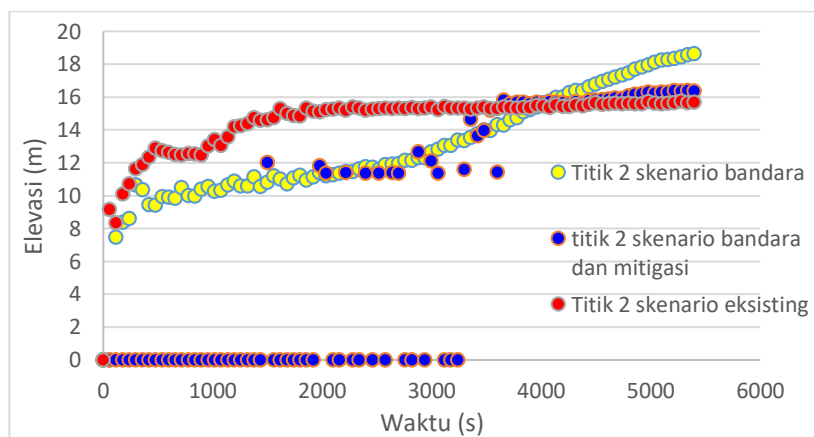
Tabel 4.3 ketinggian topografi 3 titik observasi *sand dunes*

Titik	Topografi kondisi bandara dan mitigasi (m)	Topografi kondisi bandara (m)	Topografi kondisi eksisting (m)
1	5	6	6
2	10,8	6,5	6,5
3	3	6	6

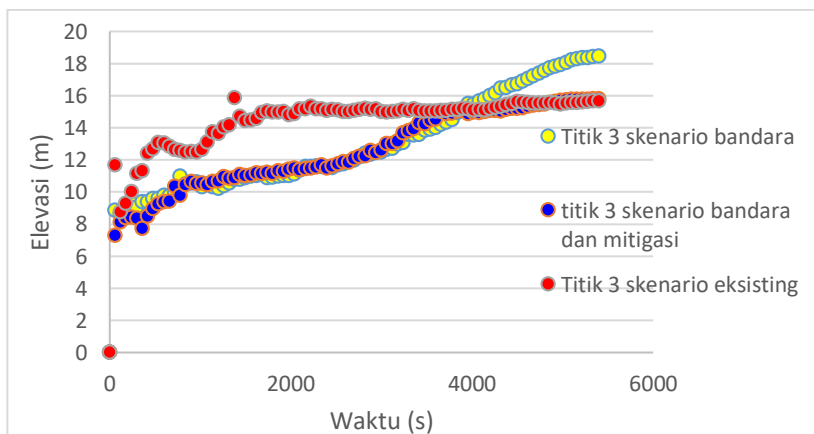
Pada sub-bab ini akan menganalisis tentang keefektifan *sand dunes* pada 3 titik observasi dengan membandingkan tinggi gelombang yang dapat diminimalisir dan waktu penurunan elevasi muka air akibat dipasang *sand dunes*.



(a). Titik observasi *sand dunes* 1



(b). Titik observasi *sand dunes* titik 2



(c). Titik observasi *sand dunes* 3

**Gambar 4.18** Efektifitas *sand dunes* pada 3 titik pengamatan.

Pada Gambar 4.18 menjelaskan bahwa semua variasi *sand dunes* dapat menahan tinggi gelombang *run up* pada angka sekitar 2 meter. Dapat diambil kesimpulan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk efektifitas *sand dunes* bervariasi pada masing-



masing titik observasi. Pada titik observasi 1 waktu efektifitas *sand dunes* terjadi pada detik ke-3900, kemudian pada titik observasi 2 waktu efektifitas *sand dunes* terjadi pada detik ke-3780, dan pada titik observasi 3 waktu efektifitas *sand dunes* terjadi pada detik ke-3780.

Dari keseluruhan hasil akhir yang telah dijelaskan diatas, dapat diringkas pada tabel 4.4 dan 4.5 untuk mempermudah pengamatan.

Tabel 4.4 Hasil akhir

Tinjauan	Skenario model eksisting	skenario model bandara	skenario model bandara dan mitigasi
luas genangan <i>run up</i> tsunami (km <sup>2</sup> )	5,2	5,2	5,2
Tinggi run up (m)	16	19	17
waktu inundasi (detik)	120	120	180

Tabel 4.5 Hasil mitigasi tsunami

Perbandingan keefektifan tiga titik observasi <i>sand dunes</i>			
Titik Observasi	<i>sand dunes 1</i>	<i>sand dunes 2</i>	<i>sand dunes 3</i>
Elevasi muka air kondisi eksisting (m)	15,39	15,36	15,54
Elevasi muka air kondisi bandara tanpa mitigasi (m)	16,74	16,37	16
Elevasi muka air kondisi bandara dengan mitigasi (m)	15	14,48	15,3
Waktu penurunan elevasi muka air kondisi eksisting (detik)	4320	4080	4620
Waktu penurunan elevasi muka air kondisi bandara tanpa mitigasi (detik)	4600	4320	4200
Waktu penurunan elevasi muka air kondisi bandara dengan mitigasi (detik)	3900	3780	3780

Dari Tabel 4.5 didapatkan variasi mitigasi yang efisien yaitu mitigasi *sand dunes* variasi 2 yang terletak di titik observasi 2. Mitigasi variasi 2 terdiri dari 2 *sand dunes* yang ditambah dengan polder atau parit, dapat menahan tinggi gelombang sekitar 2 meter.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Dari hasil pemodelan run up tsunami didapatkan sebagai berikut:

1. Tinggi genangan yang terjadi akibat tsunami untuk skenario pemodelan eksisting adalah 16,02 m pada titik 6 dengan luas genangan 5,2 km<sup>2</sup>, skenario pemodelan bandara adalah 19,88 m pada titik 6 dengan luas genangan 5,2 km<sup>2</sup> dan untuk skenario pemodelan bandara-mitigasi 17,22 m pada titik 5 dengan luas genangan 5,2 km<sup>2</sup>.
2. Waktu inundasi untuk skenario pemodelan eksisting dan skenario pemodelan bandara adalah 120 detik sampai di *airway* bandara, dan untuk skenario pemodelan bandara dengan mitigasi adalah 180 detik sampai di *airway* bandara.
3. Mitigasi yang efektif adalah mitigasi variasi 2, yang terdiri dari 2 tumpukan pasir ditambah dengan polder atau parit dapat menurunkan ketinggian gelombang tsunami sekitar 2 meter.

#### **5.2 SARAN**

Dari pemodelan yang sudah dilakukan, banyak kesalahan dan kekurangan dalam pengerjaan oleh karena itu saran penulis apabila melakukan penelitian yang serupa selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Luas area pemodelan dibuat lebih luas lagi, agar mendapatkan titik terjauh akibat gelombang tsunami yang terjadi.
2. Mitigasi dan bangunan disekitar pantai dibuat bisa bergerak (tidak hanya diam) dan tambahkan variasi mitigasi seperti seawall, atau bangunan solid lainnya.
3. Input data di Flow 3D perlu dikalibrasi lagi, agar mendapatkan hasil analisa yang lebih tepat lagi.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J.D. Jr., 1995, *Computational Fluid Dynamics, The Basics with Applications*, McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- Diposaptono, S. dan Budiman. 2008. *Hidup Akrab dengan Gempa dan Tsunami*. Bogor: Penerbit Buku Ilmiah Populer.
- DetikNews. 2017. *Bandara Kulon Progo Rawan Tsunami, Pemerintah Siapkan Mitigasi*. <https://news.detik.com/jawatengah/3619996/bandara-kulon-progo-rawan-tsunami-pemerintah-siapkan-mitigasi> diakses pada Selasa 29 Agustus 2017, 15:03 WIB.
- Flow3d.com.*Tsunami*. <https://www.flow3d.com/industries/water-environmental/tsunamis/>. Diakses pada senin 10 September 2017, 05.00 WIB.
- Globalsecurity.org. *Asian Tsunami Imagery*. <http://www.globalsecurity.org/eye/andaman-pix2.htm>. Diakses pada minggu 9 September 2017, 16.42 WIB.
- Hills J.G., dan Mader C.L. 1997. Tsunami produced by the impacts of small asteroids. *Ann N. Y. Acad. Sci.* 822, 381-394.
- Imamura, F., Yalciner, A.C. & Ozyurt, G., 2006. *Tsunami Modeling Manual*, Disaster Control Research Center, Tohoku University, Sendai, Japan
- ITDB/WLD, 2007. *Integrated Tsunami Database for the World Ocean*, ver.6.52 of Dec.31 2007, Tsunami Lab. ICMMG SD RAS, Novosibirsk, Russia.
- Kongko W. .2011. *South Java Tsunami Model Using Highly Resolved Data And Probable Tsunamigenic Sources*. Leibniz Universität Hannover.
- Kongko W. and Schlurmann T. . 2010. The Java Tsunami Model: Using Highly-Resolved Data To Model The Past Event And To Estimate The Future Hazard. *Proceedings of 32<sup>nd</sup> Conference on Coastal Engineering*, Shanghai, China. ISBN: 978-0-9896611-0-2. ISSN: 2156-1028.
- Lavigne F, Gomez C, Gifo M, Wassmer P, Hoebreck C, Mardiatno D, Priyono J, Paris R (2007) Field Observations of the 17 July 2006 Tsunami in Java, *Natural Hazard and Earth System Science*. 7(1): 177 – 183.
- Nanin Trianawati, S. (2008). *Tsunami*. Bandung: Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial Universitas Pendidikan Indonesia.
- Pignatelli C., Sanso G., Mastronuzzi G. .2009. *Evaluation of tsunami flooding using geomorphologic evidence*. *Mar. Geol.* 260, 6-18.

- Pradjoko E., Kusuma T., Setyandito O., Suroso A., Harianto B. 2014. "The Tsunami Run-Up Assesment og 1977 Sumba Earthquake in Kuta, Center of Lombok, Indonesia". *2<sup>nd</sup> International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environment and Natural Disaster Management, ISOCEEN*.
- Rismanto, A., 2011, *Pengolahan Data Survei Batimetri Dengan Menggunakan Perangkat Lunak HydroPro*, Skripsi Program Studi Teknik Geodesi ITB. Bandung.
- Soeprapto., 2001, *Bahan Ajar Survei Hidrografi*, Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Tim Survey BMG. 2006. *Laporan Survey Pantai Selatan Jawa*. Badan Meteorologi dan Geofisika : Jakarta.
- Triatmadja, R. 2010. *Tsunami Kejadian, Penjalaran, Daya Rusak, dan Mitigasinya*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- U.S. Geological Survey. 2016. *Life of Tsunami*. <https://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/basics.html> diakses pada 10 September 2017, 05.00 WIB.
- USGS, 2010. *Source Parameters of Earthquake MW 6.5 above at Java Subduction Zone*. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/sopar/>.
- Versteeg, H. K., and Malalasekera, W., 1995, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics, The Finite Volume Method*, Longman Group, Essex, England.
- Zaitunah, A. 2012. *Spatial Modelling of Vulnerability of Destruction by Tsunami in the Ciamis, Coast of Wes Java*. Bogor : IPB.
- Zaitunah A., Kusmana C., Jaya I N. S., Haridjaja O. 2012. Study on the Potential of Inundation Area by Tsunami in Ciamis Coastal of West Java. *Foresta Vol. 1, No. 1*.

## LAMPIRAN A

### HASIL VALIDASI FLOW 3D DENGAN DATA LAPANGAN

**TABEL A.1 Perbandingan hasil skenario model dengan data pengukuran lapangan**

Tabel 1 Perbandingan hasil skenario model dengan data pengukuran lapangan

TIME (s)	FLOW3D (m)	REAL (m)	TIME (s)	FLOW3D (m)	REAL (m)
60	0,00	0,07	2100	-0,01	0,10
120	0,00	0,05	2160	-0,01	0,06
180	0,00	0,05	2220	-0,01	0,06
240	0,00	0,03	2280	-0,01	0,00
300	0,00	0,03	2340	-0,02	0,00
360	0,00	0,01	2400	-0,03	-0,06
420	0,00	0,01	2460	-0,04	-0,06
480	0,00	-0,02	2520	-0,07	-0,15
540	0,00	-0,02	2580	-0,11	-0,15
600	0,00	-0,04	2640	-0,17	-0,26
660	0,00	-0,04	2700	-0,25	-0,26
720	0,00	-0,05	2760	-0,33	-0,39
780	0,00	-0,05	2820	-0,41	-0,39
840	0,00	-0,06	2880	-0,46	-0,56
900	0,00	-0,06	2940	-0,45	-0,56
960	0,00	-0,05	3000	-0,37	0,90
1020	0,00	-0,05	3060	-0,29	0,90
1080	0,00	-0,03	3120	-0,22	0,86
1140	0,00	-0,03	3180	0,00	0,86
1200	0,00	0,00	3240	0,35	0,46
1260	0,00	0,00	3300	0,59	0,46
1320	-0,01	0,03	3360	0,56	-0,34
1380	-0,01	0,03	3420	0,48	-0,34
1440	-0,01	0,06	3480	0,37	-0,26
1500	-0,01	0,06	3540	0,24	-0,26
1560	-0,01	0,08	3600	0,17	-0,27
1620	-0,01	0,08	3660	0,39	-0,27
1680	-0,01	0,10	3720	0,52	-0,36
1740	-0,01	0,10	3780	0,64	-0,36
1800	-0,01	0,12	3840	0,58	-0,21
1860	-0,01	0,12	3900	0,27	-0,21
1920	-0,01	0,12	3960	-0,05	0,00
1980	-0,01	0,12	4020	-0,32	0,00
2040	-0,01	0,10			

## LAMPIRAN B

### DATA INPUT TSUNAMI HIPOTETIK

#### B.1 Data input elevasi gelombang

Tabel 1. Data input elevasi gelombang

Waktu (s)	Titik input elevasi (m)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
360	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
480	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
540	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
660	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
720	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
840	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
960	0	0	-0.1	0	0	0	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1020	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1080	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1140	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1200	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1260	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1320	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
1380	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
1440	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
1500	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4
1560	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
1620	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7
1680	-0.8	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-1	-0.9	-1	-0.9	-0.9
1740	-1.2	-1.2	-1.2	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3
1800	-1.7	-1.7	-1.7	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.8	-1.8
1860	-2.3	-2.4	-2.4	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5	-2.6	-2.6	-2.6	-2.6	-2.6	-2.6	-2.6	-2.6
1920	-3.2	-3.3	-3.3	-3.3	-3.4	-3.4	-3.4	-3.4	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5
1980	-4.3	-4.2	-4.2	-4.2	-4.2	-4.3	-4.3	-4.4	-4.4	-4.4	-4.5	-4.5	-4.5	-4.6	-4.6	-4.6
2040	-5.2	-5.1	-5.1	-5	-5	-5.1	-5.1	-5.2	-5.2	-5.3	-5.3	-5.3	-5.3	-5.4	-5.5	-5.5
2100	-5.7	-5.7	-5.7	-5.6	-5.7	-5.7	-5.7	-5.8	-5.8	-5.9	-5.9	-5.9	-6	-6	-6.1	-5.7

Waktu (s)	Titik input elevasi (m)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2220	-5.9	-5.7	-5.4	-5.2	-5.2	-5.2	-5.2	-5.3	-5.3	-5.4	-5.4	-5.5	-5.5	-5.6	-5.8	-5.7
2280	-4.1	-3.6	-3.1	-2.7	-2.6	-2.6	-2.5	-2.6	-2.5	-2.6	-2.5	-2.6	-2.5	-2.7	-3.4	-3.5
2340	0.6	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
2400	5.5	5.7	5.6	5.2	5.4	5.6	5.7	6	6.2	6.5	6.6	6.9	6.9	7.1	7	6.9
2460	9	8.6	8.5	8.3	8.5	8.6	8.7	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.3	9.3	9.4	9.4
2520	10.3	10.3	10	9.6	9.7	9.7	9.7	9.8	9.8	10	10	10.2	10.3	10.5	10.8	10.8
2580	9.1	8.6	8.2	7.8	7.8	7.9	8	8.1	8.2	8.4	8.6	8.8	8.9	9.2	9.7	9.9
2640	7.1	6.5	6.3	6.1	6.3	6.5	6.7	6.8	7	7.1	7.2	7.2	7.3	7.3	7.6	7.8
2700	5.2	6.4	6.9	6.9	7	7	7	7.1	7.1	7.1	7.2	7.2	7.2	7.3	6.7	6.4
2760	5.5	4.9	4.8	4.9	4.9	4.8	4.8	4.7	4.8	4.9	5.1	5.4	5.6	5.9	6.4	6.6
2820	4.7	5.2	5	4.7	4.6	4.7	4.8	5	4.9	4.7	4.7	4.6	4.5	4.4	4	3.7
2880	4.1	3.7	3.6	3.7	3.4	3.3	3.1	2.9	2.5	2.2	1.9	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4
2940	2.6	2.3	2.1	2	1.7	1.6	1.4	1.3	1	0.6	0.6	0.3	0	-0.3	-0.3	-0.1
3000	-1.1	-0.9	-0.8	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.9	-0.9	-1.1	-1.4	-1.4	-1.6	-2.3	-2.1	-2.2
3060	-2.5	-2.1	-1.7	-0.9	-0.8	-0.9	-0.9	-1	-1.1	-1.3	-1.4	-1.6	-1.7	-1.9	-2.2	-3
3120	-0.8	-0.6	-0.9	-1	-1.2	-1.2	-1.3	-1.4	-1.4	-1.3	-1.4	-1.2	-1.1	-0.6	-0.8	-1.1
3180	0.6	-0.3	-0.8	-1.2	-1.2	-1	-0.9	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	0.2	0.3
3240	-1.2	-1.1	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-0.9	-1	-0.9	-0.9	-1	-1.2	-1.5	-1.5
3300	-1.4	-1.5	-1.5	-1.4	-1.4	-1.5	-1.4	-1.5	-1.6	-1.8	-2	-2.1	-2.1	-2.2	-2.3	-2.5
3360	-1.7	-1.7	-1.8	-1.7	-1.7	-1.7	-1.8	-1.9	-2	-1.9	-1.8	-1.9	-1.8	-1.9	-2.3	-2.3
3420	-2.3	-1.9	-1.6	-1.4	-1.4	-1.4	-1.3	-1.2	-1.2	-1.1	-1	-1.1	-1.2	-1.3	-0.7	-0.5
3480	-0.7	-1.3	-1.4	-1.5	-1.4	-1.3	-1.2	-1.1	-1.1	-1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6
3540	-0.9	-1	-1.2	-1.3	-1.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1	-1	-0.9	-0.9	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7
3600	-1.7	-1.6	-1.3	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.5
3660	-0.9	-1	-1.1	-1.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.5	-0.5	-0.4	-0.1	-0.1
3720	-0.6	-1	-1.1	-1.4	-1.3	-1.3	-1.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1	-1	-0.9	-0.8
3780	-2.3	-2.3	-2.3	-2.3	-2.2	-2.2	-2.2	-2.1	-2.1	-2.1	-2.2	-2.2	-2.2	-2.3	-2.3	-2.3
3840	-3.9	-3.7	-3.5	-3.4	-3.4	-3.4	-3.4	-3.4	-3.5	-3.5	-3.5	-3.6	-3.6	-3.7	-3.6	-3.6
3900	-4.2	-4.2	-3.4	-0.1	-3.1	-4.1	-4.3	-4.4	-4.5	-4.6	-4.7	-4.8	-4.9	-5.1	-5.1	-5.1
3960	1.9	0.9	0.8	1.1	0.9	0.7	0.5	0.1	0.8	0.9	1.2	-2.6	2	2	-5.5	-5.7
4020	14.1	13.3	12.4	11.4	9.4	8.7	7.8	7.7	7.4	7.6	7.5	7.9	7.9	8.7	11.2	12
4080	10.8	10	9.4	8.6	9	9.4	10	10.8	11.8	12.5	11.8	11	10.8	10.5	10.7	10.7
4140	7.3	7.2	7.3	7.3	7.6	7.8	8.2	8.5	8.6	8.7	8.7	8.9	8.9	9.1	9.8	10.1
4200	7.5	7.4	7	6.4	7.1	7.2	7.1	7.1	7.2	7.2	7.3	7.2	7	6.8	7	7.1
4260	4.8	5.3	5.5	5.7	5.6	5.5	5.4	5.2	5	4.9	4.8	4.8	4.7	4.8	4.5	4.4
4320	4.7	4.8	5.3	5.5	5.4	5.3	5.3	5.3	5.3	4.9	4.9	4.5	4.8	4.1	3.4	3.3
4380	5.8	4.9	4.1	3.6	3.7	3.7	3.5	3.8	3.7	4.1	3.7	3.7	3.6	3.7	5.4	5.8
4440	2.1	2.7	2.7	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.2	2.6	2.6	2.4	2.3	2.4	2.3	2.2
4500	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.3	-0.4	-0.4	-0.7	-0.9	-1.1	1.2	-1.5	-1.5	1.5	-1.6	-1.6
4560	-3.3	-3.4	-3.3	-3.1	-3.3	-3.4	-3.5	-3.7	-3.8	-3.8	3.9	-3.8	-3.8	3.8	-4.2	-4.5
4620	-5.8	-5.4	-5.3	-5.3	-5.4	-5.6	-5.6	-5.6	-5.6	-5.5	5.4	-5.5	-5.6	5.7	-5.8	-5.3



Waktu (s)	Titik input elevasi (m)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
4740	-5.5	-7.9	-7.8	-7.9	-7.9	-7.9	-8.1	-8.2	-8.5	-8.7	9.1	-9.1	-9.2	9.3	-7.6	-5.5
4800	-5.6	-10.3	-10.3	-10.5	-10.2	-10.1	-10	-9.9	-10.1	10.3	0.3	10.3	10.3	0.4	-7.7	-5.5
4860	-5.6	-12.6	-12.9	-12.8	-12.9	-13	-13	-13.1	-12.8	12.6	2.1	11.7	11.6	1.5	-7.7	-5.6
4920	-5.7	-13.3	-14	-13.7	-13.8	-14	-14.1	-14.2	-13.9	13.7	3.7	13.7	13.5	3.5	-7.8	-5.6
4980	-5.7	-13.3	-13.9	-13.7	-13.7	-13.7	-13.6	-13.5	-13.5	13.8	4	14.1	14	4.2	-7.8	-5.6
5040	-5.7	-13.3	-12.8	-12.8	-12.5	-12.3	-12.2	-12.2	-12.2	12.5	2.5	12.7	12.7	2.7	-7.8	-5.6
5100	-5.8	-11.2	-9.7	-9.4	-9.3	-9.3	-9.1	-9	-8.5	-8.2	7.5	-7.3	-6.8	6.8	-7.8	-5.6
5160	-5.8	-4.5	-4	-4.1	-3.6	-3.3	-2.8	-2.2	-1.7	-1	-0.5	0	0.3	1	1.7	2
5220	3.2	2.2	1.5	0.7	1	1.4	1.7	2.2	2.7	3.6	4.1	4.5	4.5	4.4	4.8	4.9
5280	5.1	4.7	4.6	4.3	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.8	4.9	4.9
5340	4.8	4.9	5	5	5	5	5	4.9	4.9	4.9	5	5.2	5.3	5.6	5.3	5.2
5400	4.8	4.7	4.6	4.5	4.7	4.9	5.2	5.2	5.2	5.3	5.4	5.3	5.4	5.3	5.2	5.3

## B.2 Data input kecepatan gelombang arah-X

Tabel 2. Data input kecepatan gelombang arah x

Waktu (s)	Titik input kecepatan arah x (m/s)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
240	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
300	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
360	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
420	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
480	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
540	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
660	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
720	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
780	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
840	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
900	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
960	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1080	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1140	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1260	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1320	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Waktu (s)	Titik input kecepatan arah x (m/s)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1440	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1560	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1620	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1680	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1740	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1800	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1860	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1920	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
1980	0.0	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
2040	0.0	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0
2100	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0
2160	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.1	0.0
2220	0.0	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.2	0.0
2280	0.4	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.3	1.3	0.8	0.9
2340	1.3	1.2	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.3	1.6	1.6	1.9	2.9
2400	0.5	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.3	1.5	2.3	4.3
2460	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	1.0	2.2	4.7
2520	-1.2	-1.1	-0.9	-0.8	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	0.0	0.0	0.3	1.2	3.0
2580	-2.4	-1.8	-1.3	-1.3	-1.2	-1.1	-1.2	-1.2	-1.3	-1.2	-1.2	-1.3	-1.6	-1.6	-2.2	-4.1
2640	-5.3	-2.8	-1.9	-1.6	-1.7	-1.8	-1.9	-2.0	-2.3	-2.1	-2.2	-2.1	-2.4	-2.3	-3.4	-6.6
2700	-4.6	-3.2	-2.3	-2.1	-2.1	-2.0	-2.0	-2.1	-2.2	-2.0	-1.9	-1.8	-2.0	-2.0	-3.0	-6.0
2760	-2.7	-2.4	-1.9	-1.9	-1.8	-1.8	-1.9	-2.0	-2.3	-2.1	-2.2	-2.4	-2.9	-3.1	-5.3	-10.1
2820	-3.2	-2.8	-2.1	-1.9	-1.9	-1.9	-2.1	-2.3	-2.8	-2.7	-2.7	-2.6	-3.0	-2.9	-3.0	-4.3
2880	-1.2	-1.6	-1.4	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.6	-1.8	-1.6	-1.6	-1.5	-1.9	-2.0	-1.4	-2.3
2940	0.2	-0.8	-0.8	-0.9	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0	-0.6	-1.0	-0.7	0.7	1.5
3000	0.5	0.0	-0.3	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.1	0.5	0.4	0.0
3060	0.2	0.8	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.9	1.2	1.4	1.2	0.2
3120	0.6	1.1	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.2	0.6
3180	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	-0.3
3240	0.5	0.9	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.4	0.6	0.7	0.7	0.4
3300	0.4	0.9	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.9	0.6	0.3
3360	0.2	0.7	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	0.6	0.2
3420	0.3	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.5	2.3
3480	0.5	0.8	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8
3540	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3
3600	0.0	0.2	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1
3660	0.2	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.5	-1.1
3720	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-1.4
3780	-0.8	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	-0.8	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.7	-1.0
3840	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3

Waktu (s)	Titik input kecepatan arah x (m/s)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3960	6.2	3.9	2.7	2.5	2.6	2.4	2.6	2.7	3.2	3.6	2.0	0.3	0.0	0.3	0.2	0.0
4020	15.0	8.5	5.2	4.5	3.1	2.6	2.4	2.5	2.6	2.4	2.4	2.2	2.3	1.8	2.7	5.9
4080	5.6	2.8	1.9	1.8	1.9	1.8	2.0	2.0	2.1	1.9	1.0	0.2	-0.4	-0.5	1.1	3.7
4140	0.7	0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	0.0	0.2	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	3.4	7.5
4200	-6.2	-3.5	-2.0	-1.1	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.5	0.9	1.3	1.9	3.5
4260	-3.6	-2.3	-1.4	-1.2	-1.0	-0.8	-0.6	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.7	1.1	1.4	1.7	2.4
4320	-1.7	-0.1	0.0	0.0	0.2	0.4	0.5	0.7	1.1	1.1	1.4	1.2	1.5	1.2	0.0	-3.0
4380	-0.5	-0.4	-0.1	-0.3	0.0	0.1	0.3	0.2	0.5	0.6	0.7	0.9	1.2	1.5	2.4	3.1
4440	-0.4	-0.8	-0.5	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.2	0.4	0.5	0.6	-0.4	-1.3
4500	-0.2	0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.4	0.1	-0.5
4560	-0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.6	0.7	0.6	0.6	0.3	0.3	0.1	-0.7	-0.8
4620	-0.2	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4	0.3	-0.5	-0.4
4680	-0.2	1.2	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	-0.1	-0.2
4740	-0.1	0.7	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.7	0.8	0.5	-0.1	-0.2
4800	-0.1	0.0	0.4	0.6	0.7	0.7	0.9	1.0	1.2	1.0	0.9	0.6	0.6	0.2	-0.1	-0.1
4860	-0.1	-0.1	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.2	0.0	-0.1
4920	-0.1	0.0	0.5	0.8	0.8	0.6	0.5	0.3	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.1
4980	0.0	0.0	0.6	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1
5040	0.0	0.0	0.6	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	0.4	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0
5100	0.0	0.0	0.7	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	0.9	1.0	0.7	0.8	0.6	0.0	0.0
5160	0.0	0.5	0.7	0.9	0.9	0.7	0.6	0.4	0.2	0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.5	-0.8	-1.8
5220	-3.1	-1.5	-0.9	-0.5	-0.6	-0.7	-0.9	-1.1	-1.6	-2.0	-2.5	-2.7	-3.0	-2.9	-4.3	-8.3
5280	-6.2	-4.4	-3.1	-2.7	-2.9	-2.9	-2.9	-3.0	-3.2	-2.8	-2.7	-2.5	-2.9	-2.7	-3.7	-6.7
5340	-5.6	-4.1	-3.0	-2.8	-2.7	-2.6	-2.7	-2.8	-3.0	-2.7	-2.8	-2.7	-3.2	-3.1	-4.2	-8.0
5400	-4.9	-3.8	-2.8	-2.6	-2.7	-2.6	-2.9	-3.0	-3.3	-3.0	-3.1	-3.1	-3.6	-3.5	-5.0	-9.5

### B.3 Tabel data input kecepatan gelombang arah-Y

Tabel 3. Data input kecepatan gelombang arah y

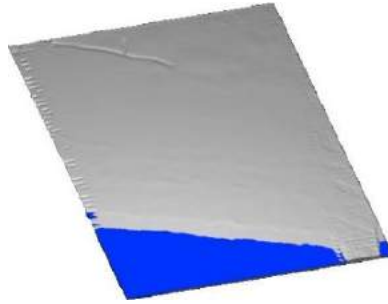
Waktu (s)	Titik input kecepatan arah y (m/s)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
240	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
300	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
360	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
420	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
480	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
540	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Waktu (s)	Titik input kecepatan arah y (m/s)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
660	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
720	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
780	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
840	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
900	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
960	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1080	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1140	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1260	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1320	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1380	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1440	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1
1500	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1
1560	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1620	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1680	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
1740	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
1800	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
1860	-0.2	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.4
1920	-0.3	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.5	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	0.0
1980	0.0	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.5	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.3	0.0
2040	0.0	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.1	0.0
2100	0.0	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	0.0	0.0
2160	0.0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	0.0	0.0
2220	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0
2280	0.0	1.0	1.1	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6	1.4	1.5	1.4	1.6	1.5	0.8	0.0
2340	2.6	2.6	2.1	2.3	2.3	2.2	2.3	2.3	2.5	2.3	2.4	2.3	2.7	2.6	3.0	4.9
2400	4.2	3.6	2.9	3.0	3.0	2.9	3.0	3.0	3.3	3.0	3.2	3.1	3.7	3.7	5.1	9.2
2460	5.8	3.1	2.2	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.5	2.3	2.4	2.3	2.7	2.9	4.9	10.4
2520	7.0	3.4	1.9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7	1.9	1.8	1.9	2.2	2.5	2.9	6.2	13.7
2580	2.7	0.6	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.5	1.9	5.0
2640	-1.9	-1.2	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1.0	-1.1	-1.2	-1.2	-1.3	-1.3	-1.4	-1.5	-2.5	-5.1
2700	-3.6	-0.6	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-1.9	-5.3
2760	-0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.3	-2.5	-5.7
2820	-3.2	-0.8	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.7	-0.8	-1.1	-1.4	-3.2	-7.5
2880	-1.7	-0.2	-0.3	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.8	-1.1	-2.2	-5.2
2940	-3.5	-1.6	-1.2	-1.3	-1.2	-1.2	-1.2	-1.1	-1.0	-0.8	-0.9	-0.8	-0.8	-1.0	-2.1	-5.3
3000	-2.1	-1.7	-1.2	-1.2	-1.2	-1.1	-1.1	-1.0	-1.0	-0.9	-1.0	-1.0	-1.1	-1.4	-1.6	-2.1
3060	-0.7	-0.8	-0.5	-0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	0.3	-0.5

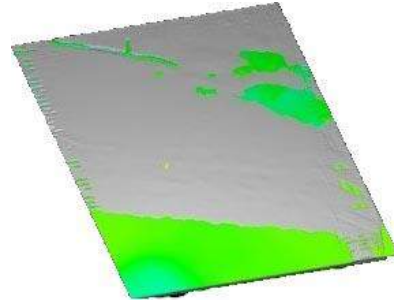
Waktu (s)	Titik input kecepatan arah y (m/s)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3180	-1.9	-0.8	-0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.4	-0.6	-0.7
3240	-0.7	-1.0	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0	-1.0	-1.3
3300	0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.7
3360	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	-0.2	0.0
3420	-0.3	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.4	1.1
3480	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8
3540	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	0.1
3600	-0.1	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3
3660	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3
3720	-0.1	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
3780	-0.5	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2
3840	-0.1	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2
3900	0.0	0.0	0.2	1.3	0.2	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1
3960	3.5	2.1	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	2.4	2.8	3.3	1.1	6.2	6.8	0.1	0.0
4020	25.1	8.5	3.9	2.7	3.2	3.5	4.2	4.7	5.5	5.5	5.9	6.3	7.2	7.7	14.5	31.3
4080	2.9	-0.1	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.9	-1.0	-1.1	-0.7	-0.7	0.0	0.4	1.3	3.6	8.4
4140	-1.5	-1.3	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	-0.8	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-0.5	0.0
4200	-3.2	-1.2	-0.8	-0.5	-0.9	-1.0	-1.3	-1.5	-1.8	-1.9	-2.2	-2.5	-2.8	-3.0	-5.4	-11.0
4260	-3.3	-1.1	-0.5	-0.3	-0.5	-0.6	-0.9	-1.1	-1.4	-1.6	-1.9	-2.2	-2.6	-2.8	-5.3	-11.2
4320	-2.4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	1.0	0.8	0.6	-0.1	-0.4	-1.2	-3.6	-7.2
4380	-3.6	-1.0	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.6	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.9	-1.0
4440	-5.5	-3.2	-2.0	-1.8	-1.9	-1.8	-2.1	-2.2	-2.4	-2.4	-2.7	-2.7	-3.1	-3.4	-5.4	-11.0
4500	-0.8	-1.7	-1.4	-1.6	-1.7	-1.6	-1.8	-1.8	-2.1	-1.9	-2.1	-2.0	-2.3	-2.2	-2.0	-3.1
4560	-1.5	-1.7	-1.4	-1.3	-1.3	-1.3	-1.4	-1.4	-1.4	-1.2	-1.3	-1.2	-1.4	-1.3	-0.7	-1.8
4620	-0.7	-0.8	-0.9	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.2	-1.2	-1.0	-1.0	-0.8	-1.0	-0.9	0.0	-1.1
4680	-0.5	-1.0	-0.8	-1.0	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.9	-0.8	-0.9	-0.9	-1.1	-1.0	-0.3	-0.7
4740	-0.4	-1.1	-1.2	-1.4	-1.3	-1.2	-1.2	-1.1	-1.1	-0.8	-0.8	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.5
4800	-0.4	-0.3	-0.8	-1.1	-1.2	-1.2	-1.4	-1.3	-1.4	-1.0	-1.0	-0.7	-0.7	-0.5	-0.2	-0.4
4860	-0.3	-0.1	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.8	-0.8	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.2	-0.1	-0.3
4920	-0.2	-0.1	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	0.0	-0.1	-0.3
4980	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2
5040	-0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.0	-0.1	-0.2
5100	-0.1	0.0	0.9	1.2	1.2	1.1	1.3	1.2	1.5	1.4	1.9	1.8	2.4	2.1	-0.1	-0.2
5160	-0.1	2.6	2.7	3.1	3.2	3.1	3.4	3.5	3.9	3.7	4.0	4.0	4.6	4.7	6.1	9.9
5220	6.7	4.7	3.1	2.9	2.7	2.6	2.6	2.4	2.5	2.1	2.0	1.7	1.7	1.3	1.4	2.6
5280	0.8	0.9	1.0	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.3	1.3	1.8	3.4
5340	1.8	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	1.7	1.8	2.0	3.3
5400	1.7	1.5	1.1	1.0	1.1	1.1	1.4	1.5	1.6	1.4	1.3	1.2	1.4	1.2	1.2	2.3

**LAMPIRAN C**  
**HASIL VISUALISASI**

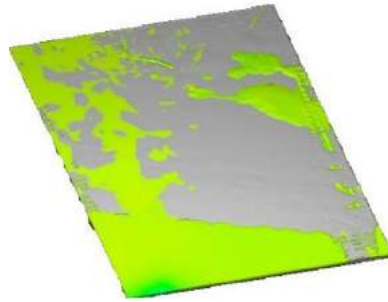
**C.1 Hasil visualisasi skenario pemodelan eksisting**



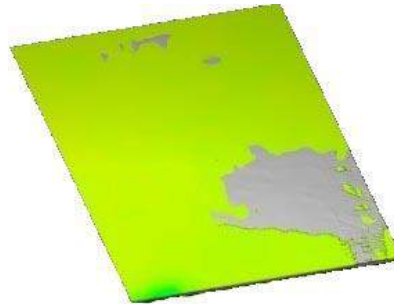
(a). detik ke-5



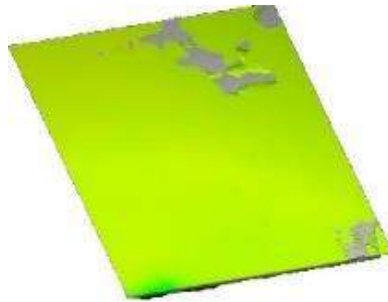
(b). detik ke-60



(c). detik ke-180



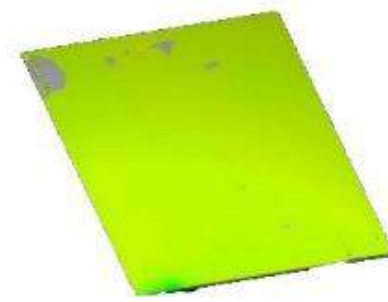
(d). detik ke-1500



(e). detik ke-2700



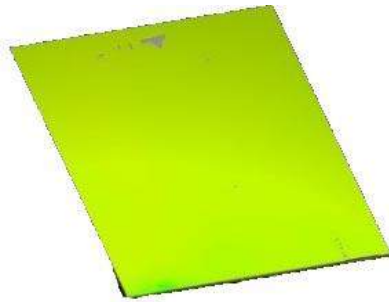
(f). detik ke-3360



(g). detik ke-3900



(h). detik ke-4320



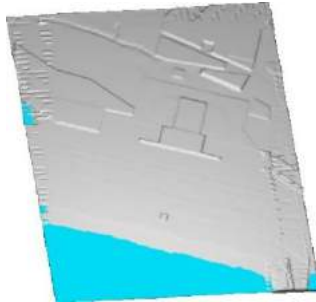
(i). detik ke 4860



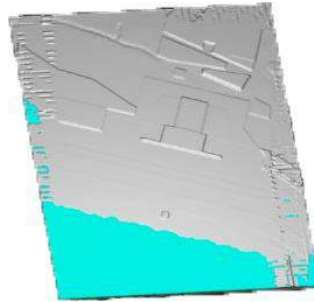
(j). detik ke-5400

Gambar 1. Hasil visualisasi skenario pemodelan eksisting

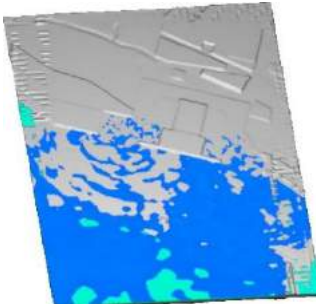
## C.2 Hasil visualisasi skenario pemodelan bandara



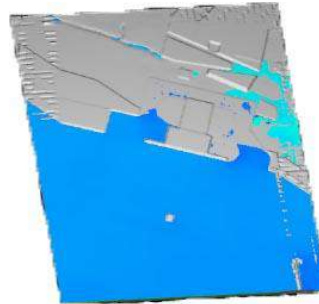
(a). detik ke-0



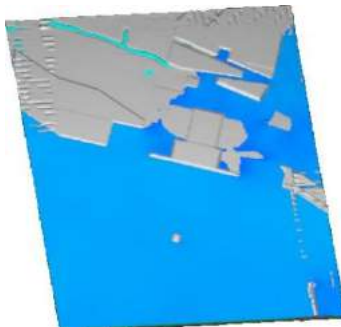
(b). detik ke-60



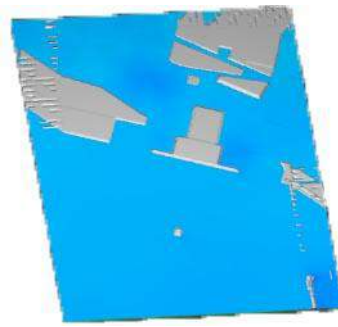
(c). detik ke-1080



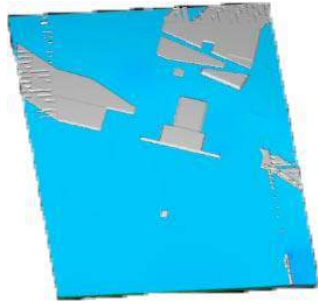
(d). detik ke-1620



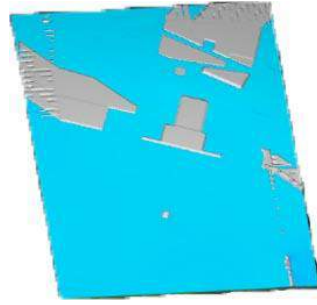
(e). detik ke-2160



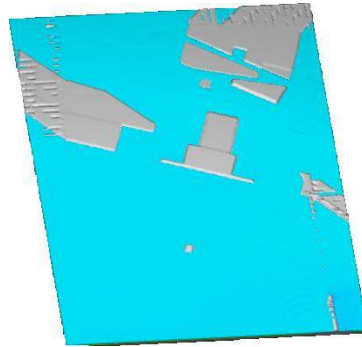
(f). detik ke-3780



(g). detik ke-4320



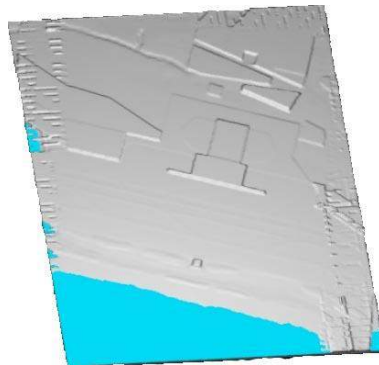
(h). detik ke-4860



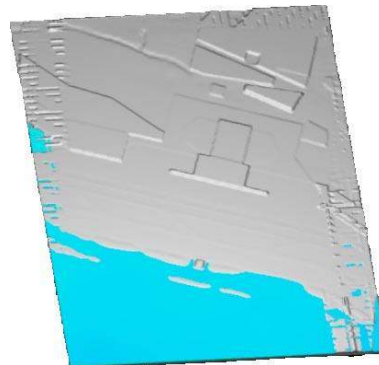
(i). detik ke-5400

Gambar 2. Hasil visualisasi skenario pemodelan bandara

### C.3 Hasil visualisasi skenario pemodelan bandara dan mitigasi



(a). detik ke-0

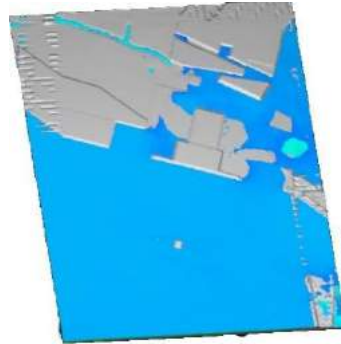


(b). detik ke-120

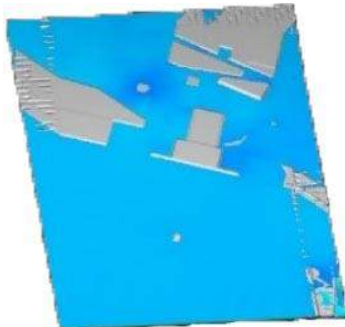




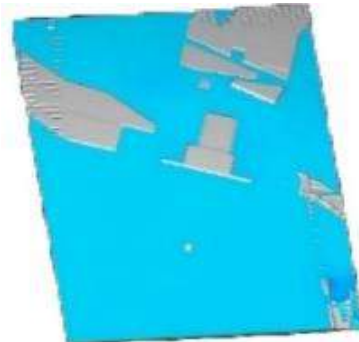
(c). detik ke-1080



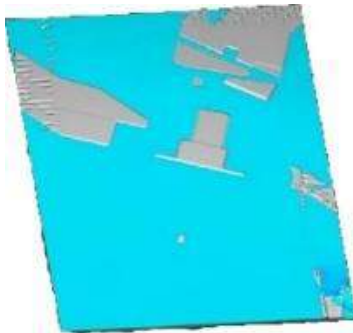
(d). detik ke-1620



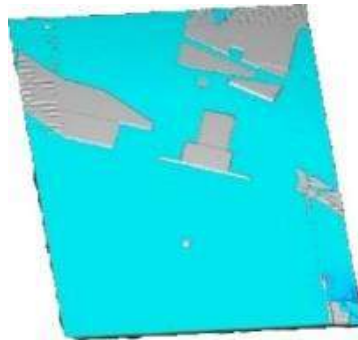
(e). detik ke-2160



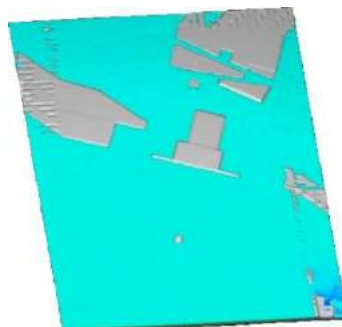
(f). detik ke-3780



(g). detik ke-4320



(h). detik ke-4860



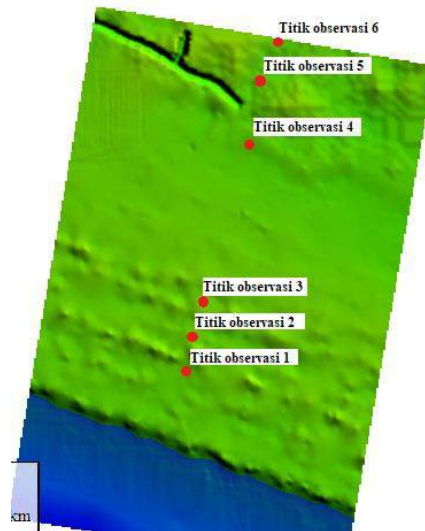
(i). detik ke-5400

Gambar 3. Hasil visualisasi skenario pemodelan bandara dan mitigasi

**LAMPIRAN D**

**HASIL TITIK OBSERVASI**

**D.1 HASIL DI TITIK OBSERVASI SKENARIO PEMODELAN**  
**EKSISTING**



Gambar 1. Lokasi titik observasi skenario model eksisting

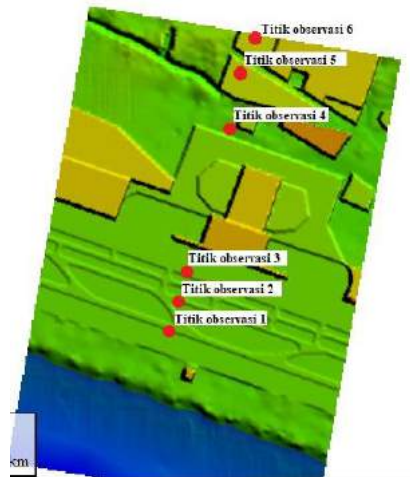
Tabel 1. Hasil output Flow 3D di titik 1, titik 2, titik 3, titik 4, titik 5, titik 6, pada skenario pemodelan eksisting

Waktu (s)	Ketinggian di titik 1 (m)	Ketinggian di titik 2 (m)	Ketinggian di titik 3 (m)	Ketinggian di titik 4 (m)	Ketinggian di titik 5 (m)	Ketinggian di titik 6 (m)
0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
120	9,97	8,21	9,29	0,00	0	0
180	9,74	8,54	9,53	0,00	0	0
240	11,62	8,64	9,74	8,08	0	0
300	11,27	9,46	9,76	7,41	0	0
360	11,53	8,83	9,73	8,28	0	0
420	12,76	9,37	9,67	9,02	8,04	8,23
480	12,83	9,46	9,38	9,83	8,45	10,44
540	12,83	11,02	9,65	10,46	10,28	12,06
600	12,84	10,53	10,36	11,70	11,20	11,01
660	12,45	9,87	12,08	11,95	11,82	11,55
720	12,44	11,16	10,98	12,40	12,85	14,06
780	12,72	11,28	10,56	13,06	13,65	13,40
840	12,49	11,53	12,73	12,84	12,92	13,25
900	12,39	12,23	13,18	13,34	12,27	12,51
960	13,30	13,44	13,40	14,45	14,30	13,81

Waktu (s)	Ketinggian di titik 1 (m)	Ketinggian di titik 2 (m)	Ketinggian di titik 3 (m)	Ketinggian di titik 4 (m)	Ketinggian di titik 5 (m)	Ketinggian di titik 6 (m)
1020	13,17	13,28	13,49	13,42	13,07	13,28
1080	13,42	13,54	13,39	14,42	14,44	13,64
1140	14,57	14,09	14,22	14,16	14,79	15,24
1200	14,11	14,12	13,76	14,51	14,57	14,59
1260	13,95	13,95	14,74	14,68	14,76	14,60
1320	14,29	15,00	15,02	14,59	14,50	14,65
1380	14,73	14,74	14,67	14,51	14,44	14,19
1440	15,09	15,05	14,85	14,55	14,33	14,15
1500	14,97	14,82	14,73	14,70	14,87	15,01
1560	15,07	15,12	15,04	14,93	14,90	14,45
1620	15,03	15,16	15,09	14,82	15,46	15,31
1680	14,88	14,87	15,01	15,29	15,03	15,21
1740	14,61	14,68	15,18	15,37	15,31	14,95
1800	14,92	15,06	15,26	15,22	15,31	15,54
1860	15,24	15,42	15,48	15,47	15,43	15,58
1920	15,04	15,30	15,40	15,58	15,49	15,42
1980	15,30	15,30	15,16	15,36	15,48	15,37
2040	15,11	15,30	15,39	15,26	15,18	15,04
2100	15,32	15,56	15,67	15,13	15,04	14,96
2160	15,39	15,30	15,31	15,27	15,51	15,60
2220	15,23	15,19	15,26	15,24	15,08	15,22
2280	15,49	15,37	15,40	15,35	15,21	15,20
2340	15,36	15,55	15,54	15,27	15,57	16,02
2400	15,24	15,29	15,25	15,47	15,24	15,26
2460	15,34	15,37	15,39	15,27	15,26	15,29
2520	15,34	15,32	15,20	15,16	15,10	15,23
2580	15,34	15,38	15,39	15,21	15,14	15,12
2640	15,30	15,37	15,35	15,24	15,40	15,53
2700	15,27	15,38	15,52	15,42	15,46	15,42
2760	15,30	15,36	15,41	15,17	15,24	15,33
2820	15,30	15,29	15,23	15,29	15,36	15,55
2880	15,22	15,29	15,37	15,44	15,46	15,47
2940	15,40	15,49	15,33	15,36	15,33	15,36
3000	15,50	15,53	15,36	15,28	15,24	15,25
3060	15,25	15,25	15,16	15,23	15,28	15,28
3120	15,42	15,33	15,23	15,23	15,26	15,28
3180	15,30	15,39	15,49	15,40	15,43	15,29
3240	15,28	15,28	15,24	15,26	15,22	15,29
3300	15,30	15,28	15,25	15,24	15,31	15,36

Waktu (s)	Ketinggian di titik 1 (m)	Ketinggian di titik 2 (m)	Ketinggian di titik 3 (m)	Ketinggian di titik 4 (m)	Ketinggian di titik 5 (m)	Ketinggian di titik 6 (m)
3360	15,22	15,25	15,17	15,36	15,37	15,37
3420	15,31	15,40	15,45	15,39	15,40	15,28
3480	15,42	15,42	15,30	15,25	15,30	15,41
3540	15,24	15,19	15,12	15,30	15,20	15,19
3600	15,36	15,28	15,25	15,28	15,22	15,20
3660	15,56	15,60	15,54	15,32	15,31	15,33
3720	15,32	15,34	15,35	15,58	15,54	15,46
3780	15,39	15,37	15,30	15,34	15,43	15,51
3840	15,38	15,39	15,41	15,47	15,54	15,49
3900	15,39	15,39	15,41	15,56	15,47	15,61
3960	15,60	15,64	15,68	15,59	15,63	15,63
4020	15,48	15,48	15,47	15,58	15,53	15,48
4080	15,46	15,49	15,56	15,52	15,46	15,47
4140	15,62	15,59	15,57	15,56	15,64	15,59
4200	15,50	15,57	15,63	15,65	15,68	15,71
4260	15,50	15,52	15,57	15,77	15,80	15,82
4320	15,65	15,67	15,68	15,61	15,58	15,67
4380	15,51	15,51	15,56	15,71	15,71	15,66
4440	15,65	15,63	15,64	15,76	15,92	15,94
4500	15,75	15,76	15,73	15,66	15,67	15,65
4560	15,62	15,61	15,62	15,64	15,60	15,51
4620	15,67	15,68	15,68	15,55	15,61	15,69
4680	15,63	15,62	15,62	15,71	15,71	15,66
4740	15,65	15,68	15,73	15,80	15,73	15,74
4800	15,66	15,72	15,75	15,70	15,77	15,84
4860	15,62	15,61	15,62	15,71	15,70	15,70
4920	15,59	15,63	15,66	15,78	15,80	15,79
4980	15,82	15,83	15,87	15,81	15,85	15,80
5040	15,68	15,72	15,75	15,72	15,63	15,59
5100	15,61	15,62	15,63	15,71	15,74	15,78
5160	15,68	15,68	15,67	15,71	15,75	15,76
5220	15,73	15,73	15,75	15,79	15,79	15,78
5280	15,82	15,81	15,82	15,90	15,91	15,91
5340	15,69	15,70	15,71	15,76	15,74	15,75
5400	15,73	15,75	15,76	15,76	15,77	15,77

## D.2 HASIL DI TITIK OBSERVASI SKENARIO PEMODELAN BANDARA



Gambar 2. Lokasi titik observasi skenario pemodelan bandara

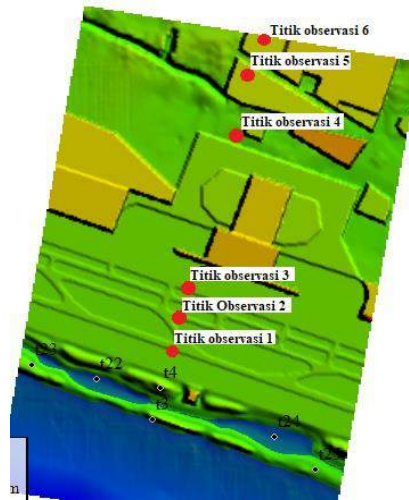
Tabel 2. Hasil output Flow 3D di titik 1, titik 2, titik 3, titik 4, titik 5, titik 6, pada skenario pemodelan bandara

Waktu (s)	Ketinggian di titik 1 (m)	Ketinggian di titik 2 (m)	Ketinggian di titik 3 (m)	Ketinggian di titik 4 (m)	Ketinggian di titik 5 (m)	Ketinggian di titik 6 (m)
0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
120	9,01	8,99	0	0	0	0
180	8,66	7,99	8,92	0	0	0
240	9,25	8,90	9,22	0	0	0
300	9,03	9,64	9,74	0	0	0
360	10,80	9,68	9,49	0	0	0
420	9,24	9,67	9,95	0	0	0
480	9,56	9,77	9,74	0	0	0
540	10,00	9,86	10,17	0	0	0
600	10,90	10,57	10,00	0	0	0
660	9,83	9,88	9,88	0	0	0
720	10,79	10,35	10,58	0	0	0
780	10,18	10,28	10,30	0	0	0
840	9,92	9,90	9,99	0	0	0
900	10,54	10,34	10,54	0	0	0
960	10,65	10,60	10,24	0	0	0
1020	10,21	9,98	10,18	0	0	0
1080	10,47	10,38	10,56	0	0	0
1140	10,69	10,70	11,10	0	0	0
1200	11,03	11,03	11,08	0	0	0
1260	10,49	10,67	11,01	0	0	0

Waktu (s)	Ketinggian di titik 1 (m)	Ketinggian di titik 2 (m)	Ketinggian di titik 3 (m)	Ketinggian di titik 4 (m)	Ketinggian di titik 5 (m)	Ketinggian di titik 6 (m)
1320	10,78	10,35	10,60	0	0	0
1380	11,04	10,77	10,32	0	0	0
1440	10,48	10,65	10,68	0	0	0
1500	10,60	10,83	10,86	0	0	0
1560	10,93	10,88	10,61	0	0	0
1620	10,99	10,89	10,83	0	0	0
1680	10,51	10,71	10,77	0	0	0
1740	10,81	10,78	10,78	6,08	0	0
1800	11,05	11,08	10,82	6,08	0	0
1860	10,93	11,22	11,30	6,08	0	0
1920	11,11	11,43	11,65	6,08	0	0
1980	11,58	11,47	11,50	6,08	0	0
2040	11,24	11,43	11,25	6,15	0	0
2100	11,14	11,40	11,23	6,25	0	0
2160	11,14	11,02	11,02	0	0	0
2220	11,28	11,29	11,05	0	0	0
2280	11,43	11,51	11,32	0	0	0
2340	11,50	11,61	11,87	6,32	0	0
2400	11,89	11,45	11,74	0	0	0
2460	11,74	11,82	11,82	0	0	0
2520	11,88	11,76	11,74	0	0	0
2580	11,99	11,98	11,99	0	0	0
2640	12,08	12,04	12,19	0	0	0
2700	12,12	12,05	12,04	0	0	0
2760	12,28	12,08	12,35	0	0	0
2820	12,22	12,33	12,24	0	0	0
2880	12,38	12,23	12,34	0	0	0
2940	12,34	12,46	12,56	6,08	0	0
3000	12,56	12,61	12,62	0	0	0
3060	12,74	12,98	12,84	0	0	0
3120	12,80	13,02	12,83	0	0	0
3180	13,21	12,95	13,25	0	0	0
3240	13,34	13,30	13,30	0	0	0
3300	13,59	13,60	13,51	0	0	0
3360	13,39	13,27	13,65	0	0	0
3420	13,94	13,73	13,74	0	0	0
3480	13,87	13,87	13,73	6,16	0	0
3540	14,18	13,84	14,02	6,10	0	0
3600	14,47	14,04	14,34	6,08	0	0

Waktu (s)	Ketinggian di titik 1 (m)	Ketinggian di titik 2 (m)	Ketinggian di titik 3 (m)	Ketinggian di titik 4 (m)	Ketinggian di titik 5 (m)	Ketinggian di titik 6 (m)
3660	14,78	14,58	14,46	0	0	0
3720	14,62	14,45	14,79	0	0	0
3780	14,80	14,49	14,74	6,41	0	0
3840	15,06	14,94	14,90	6,12	0	0
3900	15,22	14,96	15,19	0	0	0
3960	15,23	15,34	15,14	6,08	0	0
4020	15,61	15,53	15,48	0	0	0
4080	15,73	15,84	15,65	6,63	0	0
4140	15,83	15,86	15,96	7,73	0	0
4200	15,91	16,06	16,03	11,19	0	0
4260	16,15	16,18	16,19	13,54	0	0
4320	16,37	16,30	16,20	12,40	0	0
4380	16,44	16,40	16,45	12,46	0	0
4440	16,65	16,64	16,64	12,66	0	0
4500	16,84	16,78	16,88	12,08	0	0
4560	16,86	16,90	16,91	11,91	0	0
4620	17,09	17,07	17,08	12,63	17,00	0
4680	17,26	17,25	17,26	14,09	17,15	18,12
4740	17,40	17,40	17,42	14,19	18,56	0
4800	17,57	17,57	17,64	14,80	18,41	18,25
4860	17,70	17,74	17,73	14,95	18,50	0
4920	17,82	17,88	17,87	14,99	18,45	18,00
4980	17,99	18,00	18,02	15,75	18,43	0
5040	18,12	18,19	18,23	15,80	18,53	19,13
5100	18,26	18,28	18,30	15,79	18,75	19,37
5160	18,31	18,32	18,33	17,04	19,07	19,32
5220	18,38	18,41	18,49	17,02	19,01	19,45
5280	18,53	18,61	18,70	17,57	19,46	19,88
5340	18,68	18,73	18,77	18,01	19,67	19,79
5400	18,66	18,70	18,71	18,56	19,52	19,66

### D.3 HASIL DI TITIK OBSERVASI SKENARIO PEMODELAN BANDARA DENGAN MITIGASI



Gambar 3. Lokasi titik observasi skenario model bandara dan mitigasi

Tabel 3. Hasil output Flow 3D di titik 1, titik 2, titik 3, titik 4, titik 5, titik 6, pada skenario pemodelan bandara dan mitigasi

Waktu (s)	ketinggian di titik 1 (m)	ketinggian di titik 2 (m)	ketinggian di titik 3 (m)	ketinggian di titik 4 (m)	ketinggian di titik 5 (m)	ketinggian di titik 6 (m)
0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0	0
240	8,65	8,96	0	0	0	0
300	8,79	9,05	9,32	0	0	0
360	8,95	9,18	9,53	0	0	0
420	9,39	9,62	9,59	0	0	0
480	9,38	9,92	9,96	0	0	0
540	9,94	10,34	10,61	0	0	0
600	9,75	10,08	9,81	0	0	0
660	9,58	10,34	10,02	0	0	0
720	9,85	9,98	9,94	0	0	0
780	10,12	10,03	9,94	0	0	0
840	10,05	10,38	10,31	0	0	0
900	10,09	10,42	10,30	0	0	0
960	10,56	10,77	10,78	0	0	0
1020	10,89	10,83	10,80	0	0	0
1080	10,40	10,38	10,50	6,14	0	0
1140	10,63	10,58	10,65	0	0	0
1200	11,27	10,84	10,98	0	0	0



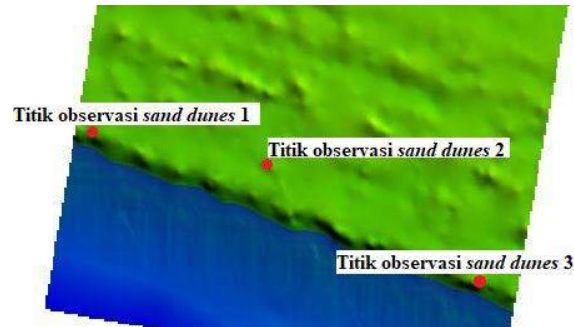
Waktu (s)	ketinggian di titik 1 (m)	ketinggian di titik 2 (m)	ketinggian di titik 3 (m)	ketinggian di titik 4 (m)	ketinggian di titik 5 (m)	ketinggian di titik 6 (m)
1260	11,15	11,15	11,32	0	0	0
1320	11,00	10,82	11,21	0	0	0
1380	11,04	11,03	10,98	0	0	0
1440	11,14	11,08	10,97	0	0	0
1500	10,86	10,89	11,04	0	0	0
1560	10,90	10,90	11,02	6,08	0	0
1620	11,25	11,44	11,17	6,23	0	0
1680	11,10	11,36	11,42	0	0	0
1740	11,15	11,30	11,45	6,75	0	0
1800	11,55	11,48	11,43	6,20	0	0
1860	11,35	11,47	11,52	0	0	0
1920	11,28	11,15	11,37	0	0	0
1980	11,45	11,48	11,23	0	0	0
2040	11,35	11,56	11,93	0	0	0
2100	11,28	11,60	11,73	0	0	0
2160	11,63	11,38	11,53	0	0	0
2220	12,10	11,35	11,28	0	0	0
2280	11,55	11,57	11,46	0	0	0
2340	11,72	11,74	11,64	0	0	0
2400	11,69	11,47	11,70	0	0	0
2460	12,01	11,68	11,89	0	0	0
2520	11,81	11,79	11,99	0	0	0
2580	11,91	11,96	12,01	0	0	0
2640	11,84	11,89	11,96	0	0	0
2700	11,69	11,96	11,81	0	0	0
2760	12,16	12,27	12,33	0	0	0
2820	12,30	12,47	12,32	0	0	0
2880	12,33	12,50	12,46	6,22	0	0
2940	12,74	12,32	12,56	0	0	0
3000	12,76	12,76	12,70	6,17	0	0
3060	12,87	12,87	12,99	0	0	0
3120	13,45	13,86	13,21	0	0	0
3180	13,40	13,44	13,23	0	0	0
3240	13,64	13,79	13,92	0	0	0
3300	14,17	13,58	13,73	0	0	0
3360	14,15	14,04	14,09	0	0	0
3420	14,18	14,19	14,23	6,10	0	0
3480	14,46	14,40	14,46	0	0	0
3540	14,66	14,45	14,69	0	0	0
3600	14,84	14,98	14,92	6,10	0	0
3660	14,75	14,81	14,65	6,28	0	0

Waktu (s)	ketinggian di titik 1 (m)	ketinggian di titik 2 (m)	ketinggian di titik 3 (m)	ketinggian di titik 4 (m)	ketinggian di titik 5 (m)	ketinggian di titik 6 (m)
3720	14,86	14,98	15,01	0	0	0
3780	14,94	15,14	15,11	6,09	0	0
3840	14,92	14,91	15,00	0	0	0
3900	15,04	15,05	15,04	0	0	0
3960	14,97	15,09	14,96	6,09	0	0
4020	15,10	14,99	14,98	7,38	0	0
4080	15,06	15,06	14,94	8,10	0	0
4140	15,02	14,97	15,19	8,16	0	0
4200	15,17	15,09	15,07	8,24	0	0
4260	15,02	15,08	15,10	7,87	0	0
4320	15,12	15,14	15,22	8,04	0	0
4380	15,13	15,25	15,20	8,29	0	0
4440	15,13	15,10	15,12	8,33	0	0
4500	15,17	15,26	15,24	8,93	0	0
4560	15,22	15,30	15,21	8,92	0	0
4620	15,30	15,42	15,40	9,62	0	0
4680	15,38	15,41	15,48	10,66	0	0
4740	15,54	15,54	15,59	10,89	0	0
4800	15,64	15,66	15,69	12,71	0	0
4860	15,61	15,70	15,74	11,68	17,22	0
4920	15,72	15,75	15,82	11,63	0	0
4980	15,75	15,83	15,88	13,13	17,19	0
5040	15,80	15,84	15,86	12,17	17,00	0
5100	15,80	15,86	15,90	12,30	0	0
5160	15,83	15,90	15,97	12,32	0	0
5220	15,89	15,95	16,03	13,51	0	0
5280	15,87	15,96	16,03	13,35	0	0
5340	15,90	15,95	15,97	13,94	0	0
5400	15,89	15,94	16,03	13,60	0	0

## LAMPIRAN E

### HASIL TITIK OBSERVASI *SAND DUNES*

#### E.1 Hasil di titik observasi sand dunes skenario pemodelan eksisting



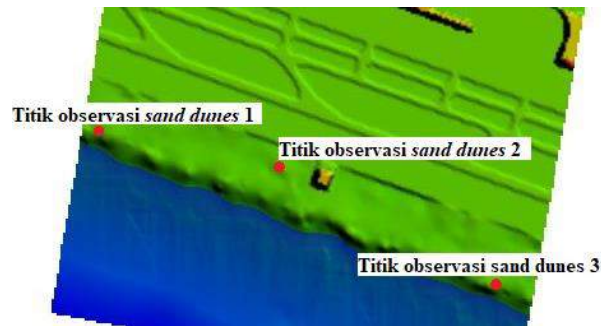
Gambar 1. Lokasi titik observasi *sand dunes* skenario model eksisting

Tabel 1. Efektifitas *sand dunes* di titik-titik observasi *sand dunes* skenario pemodelan eksisting

Waktu	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Waktu	Titik 1	Titik 2	Titik 3
0	0	0	0	1380	14,40	14,72	15,87
60	0	9,14	11,66	1440	14,84	14,55	14,69
120	9,82	8,33	8,74	1500	14,89	14,59	14,42
180	9,51	10,09	9,27	1560	15,44	14,73	14,46
240	10,51	10,69	10,01	1620	14,87	15,29	14,57
300	11,72	11,62	11,13	1680	14,94	14,99	14,94
360	11,78	11,86	11,30	1740	14,83	14,84	15,02
420	12,33	12,33	12,41	1800	14,99	14,83	14,98
480	12,81	12,87	12,66	1860	14,95	15,31	14,97
540	13,08	12,70	13,08	1920	15,43	15,11	14,99
600	12,86	12,60	13,03	1980	15,52	15,09	14,80
660	12,92	12,48	12,84	2040	15,53	15,23	14,87
720	12,79	12,44	12,64	2100	15,25	15,25	15,17
780	12,60	12,57	12,57	2160	15,25	15,32	15,17
840	12,73	12,51	12,48	2220	15,45	15,17	15,33
900	12,69	12,46	12,50	2280	15,26	15,38	15,17
960	12,61	13,00	12,48	2340	15,32	15,31	15,17
1020	13,22	13,40	12,64	2400	15,34	15,19	15,07
1080	13,49	13,03	13,09	2460	15,25	15,24	15,14
1140	13,48	13,55	13,72	2520	15,27	15,28	15,08
1200	14,38	14,16	13,62	2580	15,42	15,30	15,01
1260	14,50	14,25	14,03	2640	15,46	15,28	14,98
1320	14,55	14,38	14,16	2700	15,46	15,30	15,06

Waktu	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Waktu	Titik 1	Titik 2	Titik 3
2760	15,23	15,28	15,14	5160	15,73	15,60	15,56
2820	15,27	15,36	15,19	5220	15,74	15,64	15,60
2880	15,25	15,27	15,13	5280	15,70	15,72	15,62
2940	15,24	15,32	15,17	5340	15,74	15,64	15,65
3000	15,33	15,39	14,98	5400	15,76	15,66	15,66
3060	15,58	15,22	14,95				
3120	15,35	15,40	15,00				
3180	15,36	15,31	15,02				
3240	15,28	15,30	15,14				
3300	15,28	15,31	15,06				
3360	15,27	15,24	15,15				
3420	15,29	15,30	15,08				
3480	15,27	15,38	15,02				
3540	15,53	15,27	15,03				
3600	15,43	15,29	15,02				
3660	15,39	15,37	15,07				
3720	15,45	15,34	15,07				
3780	15,44	15,32	15,12				
3840	15,34	15,35	15,14				
3900	15,39	15,34	15,20				
3960	15,44	15,48	15,15				
4020	15,48	15,45	15,08				
4080	15,65	15,36	15,14				
4140	15,53	15,51	15,10				
4200	15,60	15,42	15,21				
4260	15,57	15,41	15,26				
4320	15,39	15,50	15,32				
4380	15,60	15,44	15,44				
4440	15,57	15,55	15,50				
4500	15,63	15,64	15,63				
4560	15,65	15,55	15,59				
4620	15,75	15,58	15,57				
4680	15,71	15,60	15,54				
4740	15,66	15,56	15,54				
4800	15,64	15,61	15,54				
4860	15,65	15,58	15,55				
4920	15,73	15,56	15,54				
4980	15,63	15,69	15,48				
5040	15,69	15,60	15,54				
5100	15,79	15,57	15,56				

## E.2 Hasil di titik observasi sand dunes skenario pemodelan bandara



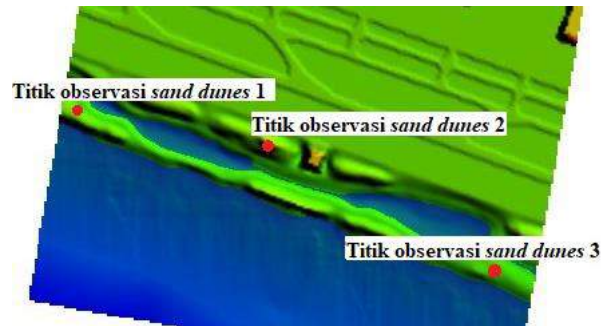
Gambar 2. Lokasi titik observasi sand dunes skenario model bandara

Tabel 2. Efektifitas *sand dunes* di titik-titik observasi *sand dunes* skenario pemodelan bandara

Waktu	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Waktu	Titik 1	Titik 2	Titik 3
0	0	0	0	1620	10,75	10,99	11,02
60	0	0	8,86	1680	11,02	10,71	11,09
120	7,68	7,46	8,63	1740	11,03	11,04	10,87
180	7,46	8,35	8,59	1800	11,00	11,22	10,90
240	8,73	8,59	9,27	1860	11,12	10,94	10,98
300	8,87	10,62	9,06	1920	11,33	11,13	11,00
360	9,32	10,35	9,39	1980	11,15	11,38	11,02
420	9,94	9,42	9,38	2040	11,18	11,20	11,10
480	10,36	9,40	9,57	2100	11,28	11,26	11,34
540	9,80	9,92	9,57	2160	11,36	11,34	11,57
600	10,43	9,88	9,77	2220	11,21	11,45	11,58
660	9,98	9,82	9,76	2280	11,39	11,46	11,59
720	9,93	10,47	9,91	2340	11,80	11,60	11,57
780	10,24	9,98	10,99	2400	11,74	11,73	11,55
840	10,18	9,96	10,49	2460	11,74	11,69	11,51
900	10,14	10,37	10,55	2520	11,91	11,58	11,67
960	10,19	10,53	10,60	2580	11,94	11,88	11,74
1020	10,56	10,25	10,30	2640	11,96	11,91	11,86
1080	10,50	10,30	10,49	2700	12,16	11,93	11,98
1140	10,81	10,65	10,31	2760	12,16	12,14	12,17
1200	10,65	10,85	10,20	2820	12,21	12,12	12,39
1260	10,82	10,56	10,37	2880	12,44	12,28	12,33
1320	10,77	10,58	10,55	2940	12,45	12,30	12,47
1380	10,53	11,13	10,79	3000	12,64	12,64	12,47
1440	10,55	10,53	10,77	3060	12,67	12,80	12,62
1500	10,69	10,78	10,87	3120	12,88	13,03	12,72
1560	10,67	11,19	10,98	3180	13,14	13,04	12,96

Waktu	Titik 1	Titik 2	Titik 3
3240	13,29	13,37	13,06
3300	13,45	13,34	13,55
3360	13,65	13,54	13,52
3420	13,61	13,75	13,55
3480	13,71	13,98	13,83
3540	14,43	13,95	13,91
3600	14,33	14,31	14,01
3660	14,65	14,29	14,21
3720	14,79	14,58	14,32
3780	14,79	14,72	14,49
3840	15,03	15,09	14,94
3900	15,11	15,20	15,10
3960	15,63	15,36	15,51
4020	15,69	15,64	15,45
4080	15,73	15,73	15,65
4140	15,87	15,95	15,81
4200	16,07	16,00	16,01
4260	16,17	16,25	16,15
4320	16,23	16,37	16,45
4380	16,42	16,38	16,50
4440	16,59	16,62	16,64
4500	16,74	16,79	16,74
4560	16,95	16,94	16,89
4620	17,17	17,08	17,06
4680	17,22	17,19	17,24
4740	17,39	17,33	17,40
4800	17,53	17,47	17,54
4860	17,69	17,67	17,71
4920	17,90	17,81	17,82
4980	18,05	17,93	17,92
5040	18,12	18,10	18,06
5100	18,27	18,24	18,21
5160	18,33	18,28	18,29
5220	18,42	18,33	18,34
5280	18,44	18,44	18,35
5340	18,62	18,55	18,41
5400	18,70	18,62	18,46

### E.3 Hasil di titik observasi sand dunes skenario pemodelan bandara dan mitigasi



Gambar 3. Lokasi titik observasi *sand dunes* skenario pemodelan bandara dan mitigasi

Tabel 3. Efektifitas sand dunes di titik-titik observasi sand dunes skenario pemodelan bandara dan mititgasi

Waktu	titik 1	titik 2	titik 3	Waktu	titik 1	titik 2	titik 3
0	0	0	0	1500	11,20	11,99	11,01
60	0	0	7,28	1560	11,21	0	11,06
120	5,78	0	8,13	1620	11,04	0	11,17
180	6,64	0	8,39	1680	11,28	0	11,14
240	8,55	0	8,43	1740	11,39	0	11,22
300	8,59	0	8,34	1800	11,37	0	11,15
360	9,37	0	7,73	1860	11,47	0	11,32
420	9,52	0	8,49	1920	11,38	0	11,28
480	9,66	0	8,94	1980	11,49	11,79	11,42
540	10,19	0	9,24	2040	11,32	11,35	11,48
600	9,70	0	9,36	2100	11,48	0	11,39
660	10,38	0	9,43	2160	11,57	0	11,44
720	10,56	0	10,34	2220	11,57	11,39	11,48
780	10,34	0	9,76	2280	11,74	0	11,56
840	10,41	0	10,44	2340	11,72	0	11,66
900	10,49	0	10,65	2400	11,70	11,35	11,49
960	10,35	0	10,50	2460	11,81	0	11,60
1020	10,60	0	10,55	2520	11,94	11,34	11,75
1080	10,90	0	10,43	2580	11,75	0	11,89
1140	11,18	0	10,63	2640	11,96	11,38	11,82
1200	10,75	0	10,69	2700	12,37	11,34	12,09
1260	11,18	0	10,95	2760	12,22	0	12,20
1320	10,96	0	10,85	2820	12,56	0	12,24
1380	10,87	0	10,89	2880	12,45	12,64	12,57
1440	11,01	0	11,09	2940	12,72	0	12,44

Waktu	titik 1	titik 2	titik 3
3000	12,70	12,10	12,61
3060	13,31	11,35	13,00
3120	13,17	0	13,01
3180	13,46	0	13,18
3240	13,73	0	13,65
3300	14,02	11,58	13,81
3360	14,16	14,64	13,93
3420	14,16	13,62	14,29
3480	14,36	13,95	14,23
3540	14,59	15,18	14,46
3600	14,70	11,41	14,53
3660	14,85	15,78	15,01
3720	15,05	15,56	14,87
3780	14,91	15,66	14,88
3840	14,98	15,67	15,03
3900	14,92	15,56	15,05
3960	15,21	15,67	14,86
4020	15,16	15,60	14,97
4080	14,95	15,70	14,94
4140	15,04	15,68	15,00
4200	15,12	15,63	15,06
4260	15,07	15,58	15,05
4320	15,14	15,71	15,03
4380	15,24	15,62	15,12
4440	15,30	15,76	15,21
4500	15,35	15,79	15,20
4560	15,34	15,84	15,24
4620	15,42	15,86	15,33
4680	15,49	15,92	15,39
4740	15,63	15,91	15,44
4800	15,66	16,06	15,45
4860	15,79	16,15	15,55
4920	15,87	16,20	15,62
4980	15,81	16,28	15,68
5040	15,87	16,23	15,71
5100	15,91	16,30	15,75
5160	15,94	16,29	15,78
5220	15,95	16,38	15,76
5280	16,03	16,34	15,75
5340	16,00	16,37	15,78
5400	15,98	16,35	15,81



## BIODATA PENULIS



Dikky Yuniansyah, dilahirkan di Pasuruan pada tanggal 13 Juni 1994, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SDN Latek, SMPN 1 Bangil dan SMAN 1 Bangil. Setelah lulus SMA pada tahun 2013, penulis langsung melanjutkan kuliah lewat jalur SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) pada tahun 2013 juga. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa ITS dengan NRP 04311340000033. Selama kuliah empat setengah tahun di Departemen Teknik Kelautan, penulis telah menempuh 148 SKS dan mengambil bidang keahlian Teknik dan Manajemen Pantai (*Coastal Engineering and Management*). Sewaktu masa kuliah, penulis sempat aktif mengikuti kegiatan kemahasiswaan, pada tahun 2014-2015, penulis menjadi Staff Tim Kesekretariatan Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA). Pada tahun 2015-2016, penulis diamanahi sebagai ketua Tim Kesekretariatan HIMATEKLA. Pada tahun 2017, penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di Balai Penelitian dan Pengembangan Pantai – Bali, Divisi Peneliti selama dua bulan tentang tsunami dan belajar software Delft 3D. Dan pada tahun yang sama penulis berkesempatan untuk magang di BPPT Yogyakarta untuk mengerjakan tugas akhir penulis tentang tsunami. Apabila ingin menanyakan perihal tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis dengan alamat email **[dkkyyuniansyah@gmail.com](mailto:dkkyyuniansyah@gmail.com)**.